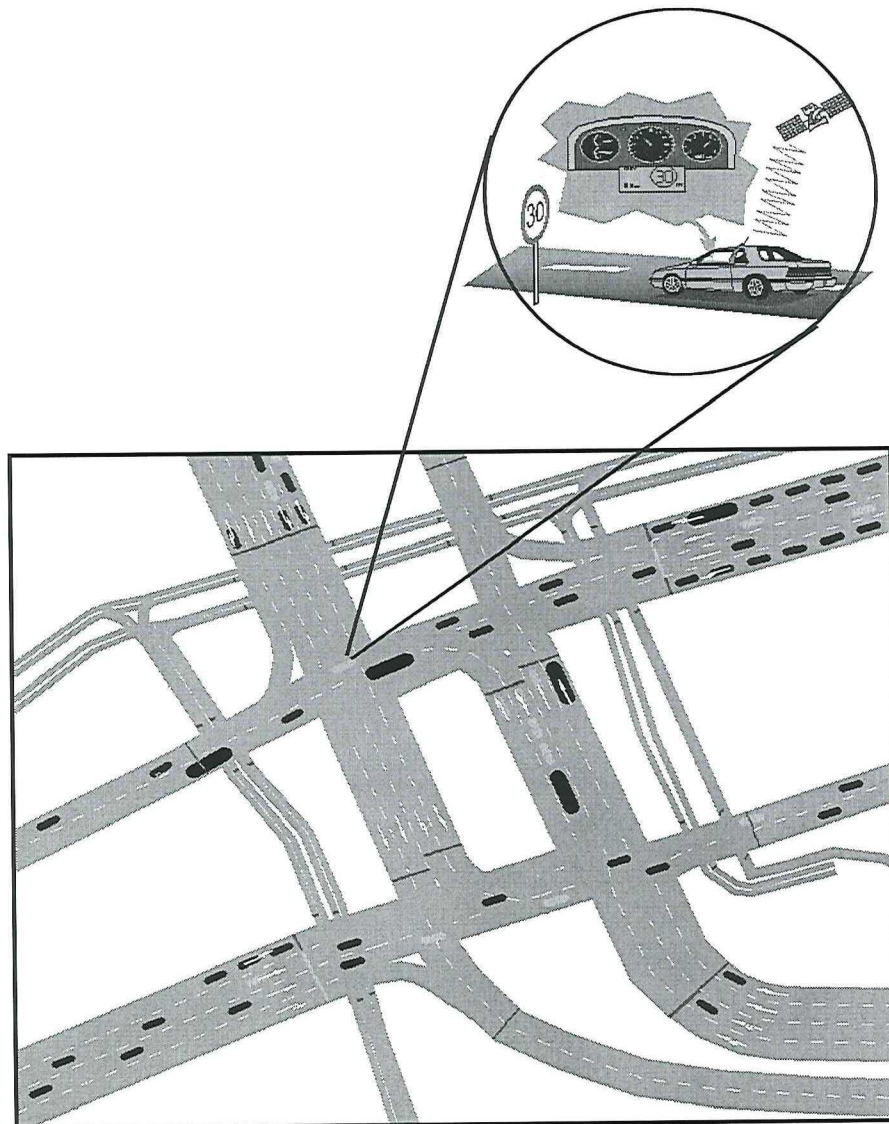


Eindrapport

ADAS op het onderliggend wegennet

Een analyse van de potentiële veiligheidseffecten van ADAS en een simulatiestudie naar de effecten van ISA



Afstudeeronderzoek in opdracht van de sectie Verkeerskunde van de faculteit
Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft
W.J.R. Louwerse
November 2003

Eindrapport

ADAS op het onderliggend wegennet

Een analyse van de potentiële veiligheidseffecten van ADAS en een simulatiestudie naar de effecten van ISA

Afstudeeronderzoek in opdracht van de sectie Verkeerskunde van de faculteit
Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft

datum: 6 november 2003
auteur: W.J.R. Louwerse

Titel eindrapport: ADAS op het onderliggend wegennet

Ondertitel: Een analyse van de potentiële veiligheidseffecten van ADAS en een simulatiestudie naar de effecten van ISA

Werktitel: Veiligheidseffecten ADAS op het OWN

Opdrachtgever: sectie Verkeerskunde/Transport&Planning
faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Technische Universiteit Delft

Datum: 6 november 2003

Afstudeerder: W.J.R. Louwerse

Afstudeercommissie: prof. dr. H.J. van Zuylen (afstudeerhoogleraar)
dr. ir. S.P. Hoogendoorn (hoofdbegeleider)
ir. R.G. Eenink (begeleider SWOV¹)
dr. ir. V.A.W.J. Marchau (begeleider TLO-TBM²)
ir. P.B.L. Wiggeraad (afstudeercoördinator)

Trefwoorden: Advanced Driver Assistance System (ADAS)
capaciteit
Duurzaam Veilig
inhalen
Intelligente Snelheidsaanpassing (ISA)
Intelligente Transportsystemen (ITS)
microsimulatie
onderliggend wegennet (OWN)
ongevallen
reistijd
risico
snelheid
time-to-collision (TTC)
verkeersveiligheid
VISSIM

¹ Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV)

² sectie Transportbeleid en Logistieke Organisatie (TLO) van de faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM), Technische Universiteit Delft

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van het afstudeeronderzoek van W.J.R. Louwerse. Het eerste deel van het onderzoek is uitgevoerd bij de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) en het tweede deel bij de sectie Verkeerskunde van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft.

De afstudeercommissie is als volgt samengesteld:

Hoogleraar: prof. dr. H.J. van Zuylen

Hoofdbegeleider: dr. ir. S.P. Hoogendoorn

Begeleider SWOV: ir. R.G. Eenink

Begeleider TBM: dr. ir. V.A.W.J. Marchau

Afstudeercoördinator: ir. P.B.L. Wiggenraad

De auteur wil in de eerste plaats bovengenoemde leden van de commissie hartelijk bedanken voor hun begeleiding. Naast dank voor de ondersteuning van diverse medewerkers van de SWOV en de fijne werksfeer aldaar, wil de auteur in het bijzonder ir. H.M. Jagtman bedanken voor haar adviezen in de opstartfase van het onderzoek. Naast dank voor de inspirerende begeleiding van diverse medewerkers en promovendi bij de sectie Verkeer, wil de auteur in het bijzonder Dipl.-ing. M.P. Miska bedanken voor de prettige samenwerking en onmisbare steun bij de bouw van het 'Kruithuisweg-model'. Tevens is de auteur ir. G. Hegeman dankbaar voor haar inhoudelijke adviezen m.b.t. ISA. Ir. M. de Leeuw van de provincie Zuid-Holland wordt bedankt voor zijn bijdrage aan het 'Kruithuisweg-model'. Tot slot wil de auteur graag medestudent A.G.A. Brouwer bedanken voor zijn vele tekstuele adviezen en klankbordfunctie.

Delft, november 2003

Robert Louwerse

Samenvatting

Binnen de sector verkeer verschuift de aandacht voor intelligente infrastructuur via intelligente voertuigen naar Intelligente Transport Systemen (ITS). Tevens verbreedt de aandacht voor het hoofdwegennet (HWN) zich naar het onderliggend wegennet (OWN).

Het OWN wordt hier gedefinieerd als alle hogere orde wegen die niet tot het HWN behoren. Dit zijn de verkeersaders buiten en binnen de bebouwde kom die volgens Duurzaam Veilig de functie ontsluiten hebben. Het OWN blijkt meer dan de helft van zowel het totale aantal dodelijke als het totale aantal letselongevallen voor rekening te nemen. Het fatale risico is buiten de kom hoog. Het letselongevalrisico is echter binnen de kom hoger dan er buiten. Geconcludeerd kan worden dat de kruising in de Gebiedsontsluitingsweg buiten de kom het onveiligst is vanwege het hoge fatale risico. Op dit type kruising spelen ongevallen tussen snel verkeer onderling een grote rol.

Aangezien het OWN onveiliger is dan het HWN is hier o.a. met behulp van ITS de nodige veiligheidswinst te behalen. Daarnaast heeft het OWN (ook) steeds meer te maken met congestie en is het uit het oogpunt van (optimale) benutting aantrekkelijk gebruik te maken van reeds op het HWN beproefde ITS, maar ook nieuwe ITS-toepassingen zijn nodig. Tevens kan het OWN een grotere rol gaan spelen bij ontlasten van HWN. Het omleiden van dit verkeer van de relatief veilige autosnelwegen van het HWN naar het OWN heeft tot gevolg dat er meer onveilige kilometers worden afgelegd. Bij de integrale inzet van het HWN en OWN bij het oplossen van de congestieproblematiek zijn dus extra veiligheidsmaatregelen op het OWN nodig.

Dit afstudeeronderzoek richt zich op de veiligheidseffecten op het OWN van voertuiggebonden ITS-toepassingen die de rijtaak van de bestuurder ondersteunen, aangeduid met de Engelse term Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). De effecten op de verkeersveiligheid zijn moeilijk te schatten, maar de verwachtingen zijn hoog gespannen. Naar de invloed van ADAS is reeds onderzoek gedaan door middel van modelsimulaties, rijsimulatoren, experimenten op een testbaan of met een testvoertuig en praktijktests op de openbare weg. Over de effecten op het onderliggend wegennet is echter weinig bekend. Dit afstudeeronderzoek heeft als doel na analyse van de verkeersonveiligheid en inventarisatie van bestaande en toekomstige ADAS te bepalen welk ADA-systeem het grootste potentiële veiligheidseffect heeft op het OWN. Van dit systeem dienen vervolgens de effecten op het verkeersproces (veiligheid en efficiëntie) bepaald te worden.

ADA-systemen worden onderverdeeld in pre-crash, crash en post-crash systemen. De belangrijkste pre-crash systemen zijn naar functionaliteit in te delen:

1. Navigation (*navigatie*)
2. Longitudinal control (*longitudinale controle*)
3. Lateral control (*laterale controle*)
4. Collision avoidance (*botsvermijding*)
5. General control (*combinatie van longitudinale en laterale controle*)
6. Driver monitoring (*controle van bestuurder*)
7. Vehicle status monitoring (*controle van voertuig*)
8. Perception (*waarneming*)

Per pre-crash systeem is bekeken welke manoeuvres en hoofdtoedrachten mogelijk kunnen worden voorkomen. Aan de hand van de bij de manoeuvres en toedrachten behorende aantallen letselongevallen (uit empirische data) is het veiligheidseffect geschat. Dit resulteert in een overzicht van het potentiële effect per ADAS-functionaliteit met onderscheid naar ongevallocatie. Geconcludeerd kan worden dat met de gebruikte methode weinig gezegd kan worden over de effecten van *navigatie*, *controle van de bestuurder* en *voertuig*. Bij *Longitudinale controle*, *laterale controle* en een *combinatie* zijn de verwachte effecten hoog. Op kruisingen kan *botsvermijding* een ruime meerderheid van de ongevallen voorkomen.

Nadat de effecten op wegvakken en kruisingen samengevoegd zijn ontstaat een totaal beeld van het potentiële effect van ADA-systemen per DV-categorie. Op het OWN hebben Intelligente SnelheidsAanpassing (ISA), Advanced Cruise Control (ACC, beide *longitudinale*

controle), Platooning (*combinatie*), Rear-End Collision Avoidance, Intersection Collision Avoidance (ICA) en Obstacle/Pedestrian Detection (*botsvermijding*) een hoog potentieel effect van 11 à 25% per DV-wegcategorie. Met name binnen de bebouwde kom springen ISA en ICA er uit met meer dan 30%. Op het OWN zou met ISA resp. ICA 18% resp. 16% van het totale aantal ongevallen kunnen worden voorkomen. ICA is voorlopig nog niet operationeel, terwijl ISA reeds over 10 jaar ingevoerd kan worden. Geconcludeerd wordt dat op middellange termijn ISA de grootste bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de verkeersveiligheid op het OWN.

ISA is een systeem dat de bestuurder ondersteunt bij het aanpassen van de rijsnelheid. Onder ISA verstaan we alle systemen in de auto die bij een (dreigende) overschrijding van de snelheidslimiet hetzij informatie hierover doorgeven aan de bestuurder ('open' variant), hetzij de snelheid van het voertuig daadwerkelijk begrenzen tot de limiet ('gesloten' variant). ISA-systemen zijn getypeerd aan de hand van drie functionele en drie technische kenmerken.

Ongeacht het type systeem beoogt ISA de verkeersveiligheid te verbeteren middels het voorkomen van te hoge en onaangepaste snelheden. Het effect van ISA zal primair een snelheidseffect zijn dat opgebouwd is uit het effect van de individuele ISA-voertuigen, het effect van de beïnvloeding van andere voertuigen plus het effect op de variantie in de snelheidsverdeling. Het Power model van Nilsson wordt gebruikt om de effecten op de verkeersveiligheid te schatten. Uit eerder onderzoek kan geconcludeerd worden dat met ISA de gemiddelde snelheid daalt en dat daarmee een effect op de verkeersveiligheid valt te verwachten van 10 à 30%. Met betrekking tot de netwerkeffecten konden geen eenduidige conclusies getrokken worden. Over de effecten op het OWN is nog weinig bekend.

Microsimulatie is een geschikt instrument om de effecten op de efficiëntie en veiligheid van het verkeer te bepalen. Onder de efficiëntie-effecten worden zowel verandering in reistijd (effect voor reiziger) als capaciteit (effect voor wegbeheerder) verstaan. Met behulp van het simulatieprogramma kunnen tevens de veiligheidseffecten geschat worden aan de hand van de time-to-collision (TTC), het aantal rijstrookwisselingen en de verlaging van de gemiddelde snelheid. Toepassing van ADAS op autosnelwegen is reeds veelvuldig gesimuleerd met behulp van speciaal ontwikkelde programmatuur. Programma's voor het modelleren van ADAS op het OWN zijn nog in ontwikkeling. In het tweede deel van dit onderzoek is een gesloten ISA-variant gemodelleerd in het microsimulatieprogramma VISSIM en toegepast op de Kruithuisweg, een Gebiedsontsluitingsweg te Delft.

Het doel van het VISSIM-model van de Kruithuisweg is het verkrijgen van inzicht in de verkeerskundige effecten na de introductie van ISA op het OWN. De resultaten van de simulatiestudie zijn beoordeeld aan de hand van prestatie-indicatoren. De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de verkeersveiligheid weergeven scores allemaal positief. De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de efficiëntie van het verkeersproces weergeven duiden niet op een significante verandering. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de introductie van ISA op de Kruithuisweg een verwaarloosbaar effect heeft op de efficiëntie van het verkeersproces. Trekt men bovenstaande conclusie door naar het OWN, dan moet er ter dege rekening meegehouden worden, dat op langere trajecten met minder kruisingen er wel een stijging van de reistijd kan optreden.

Daarentegen is het effect van ISA op de verkeersveiligheid zonder twijfel positief, zij het pas (significant) aantoonbaar bij hoge penetratie. Aan de hand van de verlaging van de gemiddelde snelheid is met behulp van de methode van Nilsson het veiligheidseffect gekwantificeerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op het OWN een risicoreductie van 4% tot 19% minder letselongevallen bereikt kan worden. Op basis van alleen de verlaging van de gemiddelde snelheden valt het veiligheidseffect van ISA in de modelstudie lager uit dan de theoretische schatting. Dit zou betekenen dat het potentieel effect van ISA ongeveer even groot zal zijn als dat van de andere kansrijke ADA-systemen. Het is de verwachting dat op een duurzaam-veilig ingerichte weg het effect van de andere kansrijke ADA-systemen ook lager uitvalt. De uitkomsten van de modelstudie moeten gezien worden als het extra veiligheidseffect dat ISA kan brengen na een (sobere) duurzaam-veilige inrichting van het OWN.

Inhoudsopgave

Voorwoord	v
Samenvatting	vii
Inhoudsopgave.....	xi
Leeswijzer	xiii
Opzet van het onderzoek.....	1
Inleiding.....	1
Probleem- en doelstelling	2
Plan van aanpak	3
Hoofdstuk 1 Veiligheid	5
1.1 Veiligheidskunde.....	5
1.2 Verkeersveiligheid.....	6
1.3 Historisch overzicht verkeersveiligheid.....	7
1.4 Fasemodel	8
1.5 Nationaal beleid verkeersveiligheid	9
Hoofdstuk 2 Inventarisatie verkeersonveiligheid.....	11
2.1 Kencijfers van 1986 tot 1998	11
2.2 Kencijfers per wegtype in 1986.....	12
2.3 Kencijfers voor wegvakken en kruisingen.....	14
2.4 Kencijfers uitgesplitst naar snel en langzaam verkeer	16
2.5 Categorisering volgens Duurzaam Veilig.....	18
2.6 Samenvatting inventarisatie verkeersonveiligheid.....	22
Hoofdstuk 3 Analyse ongevallen in Zuid-Holland	25
3.1 Methodiek	25
3.2 Analyse ongevallen in Zuid-Holland	29
3.3 Analyse aan de hand van conflictgroepen, manoeuvres en toedrachten.....	33
3.4 Samenvatting analyse ongevallen in Zuid-Holland.....	37
Hoofdstuk 4 Inventarisatie en analyse ADAS	39
4.1 Inventarisatie ADAS.....	39
4.2 Analyse ADAS-functionaliteit	44
4.3 Samenvatting inventarisatie en analyse ADAS	49
Hoofdstuk 5 Potentiële veiligheidseffecten ADAS	51
5.1 Potentieel effect ADAS op wegvak en kruising van het OWN.....	51
5.2 Totaal potentieel veiligheidseffect ADAS op het OWN.....	53
5.3 Samenvatting Potentiële veiligheidseffecten ADAS	56
Hoofdstuk 6 Snelheidsbeheersing met ISA	57
6.1 Inleiding ISA.....	57
6.2 Indeling ISA.....	58
6.3 Inventarisatie mogelijke effecten ISA.....	62
6.4 Effect van snelheid op verkeersveiligheid.....	65
6.5 Samenvatting Snelheidsbeheersing met ISA	69
Hoofdstuk 7 Literatuurstudie onderzoek naar ISA	71
7.1 Inleiding literatuurstudie	71
7.2 EVSC-project van de Universiteit van Leeds.....	71
7.3 ISA-pilot Tilburg	77
7.4 ISA-trials in Zweden.....	81
7.5 Microsimulaties ADVISORS	85
7.6 Vergelijking onderzoek.....	87
7.7 Samenvatting literatuurstudie ISA-onderzoek	88
Hoofdstuk 8 Simulatiestudie 'ISA op de Kruithuisweg'	89
8.1 Opzet simulatiestudie 'ISA op de Kruithuisweg'	89
8.2 Situatieschets Kruithuisweg	91
8.3 Microsimulatiemodel VISSIM.....	94
8.4 VISSIM-model Kruithuisweg	100
8.5 ISA in VISSIM-model Kruithuisweg	104
Hoofdstuk 9 Resultaten simulatiestudie	107
9.1 Veiligheid en efficiëntie van het verkeersproces	107
9.2 Snelheid	107
9.3 Time-to-collision.....	116

9.4 Inhalen	118
9.5 Capaciteit.....	119
9.6 Reistijd en trajectnelheid	123
9.7 Samenvatting resultaten simulatiestudie.....	126
Hoofdstuk 10 Conclusies en aanbevelingen	129
10.1 Inleiding	129
10.2 Conclusies	129
10.3 Aanbevelingen.....	131
Literatuurlijst	133
Bronnen	135

Leeswijzer

Dit rapport begint met het hoofdstuk *Opzet van het onderzoek*. Hierin wordt de aanleiding tot het voor u liggende onderzoek besproken en worden de probleem- en doelstelling en de onderzoeksopzet beschreven. *Hoofdstuk 1* gaat in op de veiligheidskunde in het algemeen en de verkeers(on)veiligheid in het bijzonder. Het *tweede hoofdstuk* brengt de onveiligheid op de Nederlandse wegen in kaart aan de hand van verkeers- en ongevalskenmerken. Hiertoe is het wegennet opgedeeld in wegtypen met bijbehorende kenmerken als weglengte, verkeersprestatie en aantal letselongevallen, slachtoffers en doden. Het *derde hoofdstuk* gaat specifiek in op letselongevallen aan de hand van manoeuvres en toedrachten van ongevallen in Zuid-Holland. *Hoofdstuk 4* geeft een schematisch overzicht van Advanced Driver Assistance Systems en maakt een koppeling met manoeuvres en toedrachten die voorkomen kunnen worden. *Hoofdstuk 5* bespreekt het potentiële veiligheidseffect van de Advanced Driver Assistance-systemen per wegcategorie. Op het onderliggende wegennet (OWN) blijkt Intelligente SnelheidsAanpassing (ISA) potentieel het grootste effect te hebben. In *hoofdstuk 6* wordt dieper op ISA ingegaan aan de hand van functionele en technische kenmerken. Dit hoofdstuk brengt ook de mogelijke primaire en secundaire effecten van ISA-systemen op het verkeersproces in kaart. *Hoofdstuk 7* bespreekt eerder onderzoek naar de effecten van ISA op het verkeersproces. Deze literatuurstudie omvat zowel rijsimulatorstudies en microsimitaties als praktijktesten op de openbare weg. *Hoofdstuk 8* behandelt de case 'ISA op de Kruithuisweg' en het model dat hiervoor is gemaakt met het microsimitatie-programma VISSIM. De uitkomsten van de microsimitaties worden geanalyseerd in *hoofdstuk 9* en vergeleken met de resultaten uit het onderzoek besproken in hoofdstuk 7. In *hoofdstuk 10* worden de conclusies op een rij gezet en aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Opzet van het onderzoek

Inleiding

Sinds de komst van de eerste motorvoertuigen op Nederlandse wegen zijn er meer dan honderdduizend verkeersdoden en bijna twee miljoen gewonden gevallen. Hoewel de verkeersveiligheid – ondanks de enorme mobiliteitsgroei – sinds 1972 verbeterd, komt dit heden ten dage jaarlijks neer op zo'n 1000 doden, 18.000 ziekenhuisopnamen en 300.000 mensen die zich laten behandelen bij Spoedeisende Hulp of huisarts. Dit betekent o.a. dat één op de drie overledenen tussen de 5 en 25 jaar een verkeersslachtoffer is. Het aantal verloren levensjaren als gevolg van verkeersongevallen ligt tussen dat als gevolg van hart- en vaatziekten en van kanker.

Verkeersonveiligheid is daarmee een groot volksgezondheidsprobleem en de maatschappelijke kosten worden geschat op 8 miljard euro (17 miljard gulden) in 1997 (Wegman 1998). Ter vergelijking: de economische schade van congestie in dat jaar bedroeg naar schatting 0,8 miljard euro (1,7 miljard gulden).

Het is opmerkelijk dat bij andere technologische (transport-)systemen uitgegaan wordt van een hoger veiligheidsniveau. Het personenvervoer per spoor of door de lucht is per afgelegde kilometer 10 resp. 200 keer veiliger (fataal risico) dan privé-vervoer over de weg. Veiligheidsnormen voor arbeidsomstandigheden, fabrieken en bescherming tegen natuurgeweld gaan uit van sterftekansen die tot wel 1000 maal kleiner zijn dan die in het wegverkeer (SWOV 1992).

In het kader van het Nationaal Verkeer- en Vervoersplan (NVVP 2000) wordt als taakstelling geformuleerd in 2010 het aantal doden met vijftig procent te verminderen ten opzichte van 1986 en het aantal gewonden met veertig procent. Dit betekent maximaal 760 doden en 13.000 ziekenhuisgewonden in het jaar 2010. Uit onderzoek (SWOV 1996) blijkt dat deze streefcijfers alleen gehaald kunnen worden bij een combinatie van vergaande maatregelen, invoering van een duurzaam-veilig verkeers- en vervoerssysteem (Duurzaam Veilig) en verhoogde inzet van alle betrokken partijen. Het uiteindelijke doel van Duurzaam Veilig is de risico's op alle wegen te verlagen tot het niveau van de relatief veilige autosnelweg. In 2010 moet ongeveer eenderde van de geplande werkzaamheden in het kader van Duurzaam Veilig (DV) zijn ingevoerd. Om in de periode daarna een verdere verbetering van de verkeersveiligheid te realiseren dient Duurzaam Veilig volledig te worden ingevoerd, maar wordt ook veel verwacht van telematica-toepassingen op de weg en in het voertuig.

Binnen de sector verkeer verschuift de aandacht voor intelligente infrastructuur via intelligente voertuigen naar Intelligente Transport Systemen (ITS). Tevens verbreedt de aandacht voor de autosnelwegen (hoofdwegennet: HWN) zich naar het onderliggend wegennet (OWN). Dit heeft een aantal redenen:

- relatief grotere onveiligheid op OWN
- ITS nog weinig toegepast op OWN
- ook congestie op OWN
- doorstroming op HWN

Aangezien het OWN onveiliger is dan het HWN is hier o.a. met behulp van ITS de nodige veiligheidswinst te behalen. Daarnaast heeft het OWN (ook) steeds meer te maken met congestie en is het uit het oogpunt van (optimale) benutting aantrekkelijk gebruik te maken van reeds op het HWN beproefde ITS (zoals Dynamisch VerkeersManagement), maar ook nieuwe ITS-toepassingen zijn welkom. Tevens kan het OWN een grotere rol gaan spelen bij het verwerken van regionaal en lokaal verkeer zodat het HWN ontlast wordt en de doorstroming wordt verbeterd. Het omleiden van dit verkeer van de relatief veilige autosnelwegen van het HWN naar het OWN heeft tot gevolg dat er meer onveiligere kilometers worden afgelegd. Bij de integrale inzet van het HWN en OWN bij het oplossen van de congestieproblematiek zijn dus extra veiligheidsmaatregelen op het OWN nodig.

Het OWN wordt hier gedefinieerd als alle hogere orde wegen die niet tot het HWN behoren:

- de verkeersaders buiten en binnen de bebouwde kom,
- buiten de kom verbinding tussen HWN en stedelijke centra,

- binnen de kom verbinding tussen en ontsluiting van belangrijke activiteitencentra,
- volgens Duurzaam Veilig is de functie ontsluiten,
- loopt niet door verblijfsgebieden,
- gesloten voor langzaam verkeer.

Twee procent van de totale weglengte komt voor rekening van het HWN. Hierop wordt bijna veertig procent van alle (motor)voertuigkilometers afgewikkeld. Dat zijn dus relatief veel voertuigen op relatief zeer weinig kilometers weg. Bij telematica-toepassingen voor het verkeer op het HWN is investeren in intelligente weginfrastructuur efficiënt. Op het OWN zouden echter investeringen in voertuiggebonden toepassingen (macro-economisch gezien) efficiënter kunnen zijn, omdat het aantal kilometers weg groot is ten opzichte van het aantal voertuigen dat er gebruik van maakt. Naar verwachting zullen deze systemen tevens op andere wegtypen bruikbaar zijn.

In dit kader zal mijn afstudeeronderzoek zich richten op de veiligheidseffecten van voertuiggebonden telematicatoepassingen op het onderliggend wegennet. Het betreft hier betuurder-ondersteuningssystemen, meestal aangeduid met de Engelse term Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Dit zijn voertuiggebonden ITS-systemen die de rijtaak van de bestuurder ondersteunen.

Binnen het TRAIL³-project '*Intelligente transportsystemen op het onderliggend wegennet*' wordt samengewerkt tussen de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) en de Technische Universiteit Delft (TU Delft) op het onderwerp '*Telematica applicaties voor een veiliger onderliggend wegennet*'. Binnen de SWOV valt dit onder het thema '*Telematica en veiligheid in het wegverkeer*' en het project '*Het onderliggend wegennet*' van de afdeling Infrastructuur, Telematica & Voertuigen. Het onderdeel '*Effecten van ITS op het onderliggend wegennet*' komt voor rekening van de sectie Verkeerskunde, eenheid Verkeersmanagement, van de TU Delft.

Probleem- en doelstelling

Probleemstelling

Wat zijn de effecten op de verkeersveiligheid van bestaande en toekomstige ADAS toegepast op het OWN? En wat is het effect op het verkeersproces van de ADAS-toepassing met het grootste potentiële veiligheidseffect?

Doelstelling

Na analyse van de onveiligheid van duurzaam-veilige wegcategorieën en inventarisatie van bestaande en toekomstige ADAS kunnen combinaties gemaakt worden tussen ADAS-toepassingen en specifieke onveilige situaties op het OWN. Van de combinatie met het grootste potentiële veiligheidseffect dient vervolgens het effect op het verkeersproces (veiligheid en efficiëntie) bepaald te worden.

Onderzoeksvragen

- Wat is verkeersonveiligheid en hoe kan het gekwantificeerd worden? (hoofdstuk 1)
- Hoe groot is de onveiligheid van de verschillende wegcategorieën nu en na invoering van DV? (hoofdstuk 2)
- Welke specifieke situaties zijn onveilig en welke manoeuvres en conflicten zijn daar de oorzaak van? (hoofdstuk 3)
- Welke ADAS zijn reeds op de markt of in ontwikkeling, wat zijn hun eigenschappen en wat is het effect op de verkeersveiligheid? (hoofdstuk 4 en 6)
- Welke combinaties van ADAS en wegcategorie zijn het kansrijkst en wat is het effect op de veiligheid en efficiëntie van het verkeersproces? (hoofdstuk 5 en 7)
- Wat zijn relevante veiligheidsmaten/indicatoren voor de verwachte effecten? (hoofdstuk 7 en 8)
- Welke model is geschikt en beschikbaar om de effecten te voorspellen? (hoofdstuk 8)
- Welke parameters en variabelen worden als invoer gebruikt en wat zijn relevante waarden hiervoor? (hoofdstuk 8)

3 TRAIL: Onderzoekschool Transport, Infrastructuur en Logistiek (Erasmus Universiteit Rotterdam en TU Delft)

- Wat is de uitvoer van het model en wat zegt dat over de effecten op veiligheid en efficiëntie? (hoofdstuk 9)
- Welke conclusies kunnen getrokken worden betreffende de veiligheidseffecten van ADAS op het OWN? (hoofdstuk 9 + 10)

Plan van aanpak

Fasen

Het afstudeeronderzoek doorloopt 4 fasen:

- A. Inventarisatie
- B. Generatie combinaties
- C. Simulatie combinatie
- D. Analyse en evaluatie

Opeenvolgende fasen kunnen tijdelijk parallel lopen, tevens is het onderzoek een cyclisch (iteratief) proces waarbij voorgaande fasen opnieuw doorlopen worden. Aan de hand van deze fasen en de gestelde onderzoeksvragen wordt hieronder de te volgen werkwijze uiteengezet.

Toelichting werkwijze

Fase A. Inventarisatie ADAS en onveiligheid

-Inventarisatie van onveilige situaties, manoeuvres en conflicten

Onderzoek naar:

- de onveiligheid van de verschillende wegcategorieën in huidige situatie (hoofdstuk 2)
- de onveiligheid na invoering van DV-wegcategorieën (hoofdstuk 3)
- specifieke situaties die onveilig blijven (hoofdstuk 2 en 3)
- toedrachten, manoeuvres en conflicten die daar de oorzaak van zijn (hoofdstuk 3)

Eindproduct: één of meer onveilige wegcategorieën met bijbehorende gevaarlijke manoeuvres en conflicten

-Inventarisatie ADAS

Onderscheid naar longitudinale, laterale en overige systemen

Onderzoek naar:

- systemen die reeds op de markt of in ontwikkeling zijn (hoofdstuk 4 en 6)
- welke manoeuvres en toedrachten ondersteund kunnen worden (hoofdstuk 4)

Eindproduct: lijst met kansrijke ADAS met bijbehorende eigenschappen

Fase B. Combinaties van geschikte ADAS en onveilige situaties

Onderzoek naar:

- mogelijke koppelingen / combinaties (hoofdstuk 5)
- veiligheidseffecten per combinatie en per wegcategorie (hoofdstuk 5)
- evaluatie combinaties (hoofdstuk 5)

Eindproduct: een of meer kansrijke ADAS-toepassing op het OWN

Fase A en B worden afgesloten met een tussenrapport

Fase C. Simulatie van een kansrijke ADAS-toepassing op het OWN

Onderzoek naar:

- wat er bekend is over de effecten op veiligheid en efficiëntie? (hoofdstuk 6 en 7)
- veiligheidsmaten en indicatoren (hoofdstuk 6, 7 en 8)
- bestaand wegvak of kruising om te modelleren (hoofdstuk 8)
- simulatiemodel (hoofdstuk 8)
- parameters en variabelen die als invoer worden gebruikt (hoofdstuk 8)
- uitvoer van het model (hoofdstuk 8 en 9)
- effecten op veiligheid en efficiëntie (hoofdstuk 9)

Eindproduct: veiligheids- en capaciteitseffecten van ADAS-toepassing op OWN

Fase D. Analyse en evaluatie

In deze laatste fase worden de simulatieresultaten geanalyseerd en geëvalueerd. (hoofdstuk 9) Vervolgens worden er conclusies getrokken over de te verwachten effecten op capaciteit en veiligheid van de gesimuleerde ADAS-toepassing op OWN. (hoofdstuk 10)

Eindproduct: eindrapport Veiligheidseffecten van ADAS op OWN

Hoofdstuk 1 Veiligheid

Dit hoofdstuk gaat eerst in op de veiligheidskunde in het algemeen en spitst in de tweede paragraaf toe op de verkeersveiligheid. Paragraaf 3 schetst een historisch overzicht van de benadering van het verkeersveiligheidsprobleem. Paragraaf 4 beschrijft het fasemodel van het verkeer- en vervoerproces. De laatste paragraaf bespreekt het nationale beleid ten aanzien van verkeersveiligheid.

1.1 Veiligheidskunde

Veiligheid is een breed begrip. Naast gezondheid, welzijn en milieu dekt het een gebied dat zich bezighoudt met de ongewenste afwijkingen van een ideale staat of toestand van de wereld en de mensen die daar in leven. In Angelsaksische literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen 'hazard' en 'danger':

Hazard: bestaande of potentiële conditie, object of energiebron die kan resulteren in schade.

Danger: totaal van alle 'hazards' in een bepaalde situatie.

In de Van Dale vindt men onder veiligheid: 'het ontbreken van gevaar'.

Gevaar: dreigende (hypothetische, onzekere, toekomstige, potentiële) schade.

Aard van het gevaar: *energie* (potentieel, kinetisch, thermisch, straling etc.) en soort *schade* (lichamelijk, geestelijk, materieel).

Risico: Volgens Kaplan & Garrick (1981) gedefinieerd als een combinatie van *kans*, *gevolg* en *scenario*.

Omdat iedereen een ander beeld van het ideaal heeft, wordt er verschillend over veiligheid gedacht. Maatregelen die genomen kunnen worden om de veiligheid te vergroten impliceren vaak een beperking van vrijheid of stijging van kosten (Hale 1994).

Om de complexiteit van een probleem in kaart te brengen maakt de veiligheidskunde gebruik van systeemmodellen. Het systeemdenken is halverwege de vorige eeuw ontwikkeld om modellen te maken van complexe installaties, processen of activiteiten met veel componenten die elkaar beïnvloeden.

Binnen de hiërarchische structuur van grote systemen zijn drie niveaus te onderscheiden:

- *Macroniveau*: een grote onderneming, stad, land of transportsysteem (hier worden de *randvoorwaarden* bepaald voor de beslissingen op het lagere niveau)
- *Mesoniveau*: een woonhuis, fabriek of verkeerstraject (hier worden *beslissingen* genomen die activiteiten van het systeem beïnvloeden)
- *Microniveau*: een mens, kleine groep, machine of voertuig (hier vallen de meeste *slachtoffers*)

Op elk niveau wordt het (bedrijfs)proces gecontroleerd en gestuurd door een beheersfunctie. Bij verlies aan beheersing kunnen er gevolgen optreden die schadelijk zijn voor de systeemelementen of de omgeving. Volgens deze theorie is veiligheid als volgt te definiëren: het onder controle blijven van een proces (Hale 1994).

Preventieve beheersfuncties spelen een rol in het onder controle houden van een systeem of proces (Hale 1994):

- Ingebouwde, vaak technische beheersfunctie die passief of actief is:
 - Eliminatie van gevarenbron (Uitbannen van gevaar).
 - Gevaar afschermen van kwetsbaar element (persoon).
 - Beschermen van kwetsbaar element tegen gevaar.
 - Afstand tot gevarenbron (Verwijdering van kwetsbaar element).
- Beheersfunctie die afwijkingen detecteert en herstelt; in verleden vooral door mensen maar in toekomst vaker door ICT.
- Beheersfunctie die op hoger (meso)niveau werkt, het ontwerpproces en het opstellen van bovenstaande beheersfuncties en de terugkoppeling na een ongeval regelt.

Daarnaast zijn er schade beperkende beheersfuncties:

- Beheersfunctie die schade veroorzakende stof of energie van kwetsbare elementen afleidt.
- Beheersfunctie die schade actief beperkt (redding, stabilisatie) en herstelt.

Onveiligheid kan omschreven worden als de aanwezigheid van dreigend gevaar of als een mate van expositie aan situaties met een niet aanvaardbaar niveau van risico. Gevaar in verkeer omvat het stelsel van verkeerscondities, die met een zekere kans kunnen resulteren in een ongeval. De mate en aard van verkeersdeelname bepaalt de expositie aan de verkeerscondities met gevaar. Een ongeval is bepaald door een serie gebeurtenissen met een niet voorziene uitkomst, waarbij energieoverdracht plaatsvindt op daartegen niet voldoende beschermde, kwetsbare, structuren die schade aan of verlies van mensen en materialen tot gevolg heeft.

1.2 Verkeersveiligheid

Een transportsysteem kan veilig genoemd worden als de tot nu toe bekende en vermijdbare oorzaken van ongevallen tot een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid uit het systeem zijn verwijderd. Rail- en luchtverkeerssystemen zijn in principe vanuit die conceptie van veiligheid ontworpen. Het wegverkeer is daarentegen evolutioneel ontstaan uit de mechanisering van het koetstransport op een daartoe weliswaar uitgebreid en aangepast, doch reeds bestaand, netwerk van wegen. Het wegverkeer voldoet daardoor niet aan deze definitie van veiligheid en er zijn nog steeds talloze vermijdbare en bekende gevaarsituaties in het wegverkeer aanwezig (Koornstra 1996).

In feite betekent verkeersonveiligheid dat in het verkeer- en vervoerproces op elkaar volgende toestanden ontstaan die zodanige veranderingen ondergaan, dat deze steeds kritischer worden. Wanneer zo'n keten van steeds kritischer wordende gebeurtenissen niet onderbroken of 'weggeregeld' kan worden, vindt een botsing plaats. Tijdens de botsingssituatie en erna kan de kritische toestand nog verder toenemen, de gevolgen worden dan ernstiger. Paragraaf 1.4 gaat hier dieper op in aan de hand van het fasemodel van het verkeer- en vervoerproces.

Onveiligheid kan analytisch worden omschreven als het verwachte product van risico (kansen op ongevallen), expositie (mate van blootstelling aan risicocondities) en de waardering van verlies per type uitkomst. Deze omschrijving van de onveiligheid staat voor de verwachting van een aantal ongewenste gebeurtenissen met daarbij behorende nadelige gevolgen. In deze benadering wil men een maat vinden voor conflictsituaties (gevaar opleverende situaties waarin daadwerkelijk een kans bestaat op een ongeval) en veronderstelt men een causale relatie tussen een ongeval en een kans op een ongeval.

$$\text{onveiligheid} = \text{risicocijfer} \times \text{expositie}$$

vergelijk dit met:

$$\text{verwachte aantal kruis} = \text{kans op kruis} \times \text{aantal worpen}$$

Door het kans-karakter van het risico kunnen de feitelijke aantallen ongevallen door het toeval fluctueren. Daarnaast kunnen veranderingen in de faalkansen (bijvoorbeeld door veiligheidsmaatregelen) en de expositie (bijvoorbeeld door toename verkeer) de uitkomsten beïnvloeden.

Risicocijfers of -indicatoren hebben in de teller bijvoorbeeld ongevallen- of slachtoffergegevens zoals deze in het verleden zijn geregistreerd. Vanwege de problemen van de zogeheten 'onderregistratie' gaat de voorkeur uit naar gegevens over doden en ziekenhuisgewonden. De veronderstelling is dat historische informatie ook iets zegt over de toekomst, aannemende dat de omstandigheden ongewijzigd blijven. In de noemer staat bijvoorbeeld de mate van verkeersprestatie of verkeersdeelname, meestal uitgedrukt in afgelegde afstand (of soms in tijd besteed in het verkeer). Het is daarbij steeds nodig precies het bereik aan te geven, zoals bijvoorbeeld: tijd, type weg, leeftijdsgroep, ect. (Wegman 2001). In hoofdstuk 2 van deze studie worden risico-indicatoren gerangschikt onder de verzamelterm 'kencijfer', voorbeelden hiervan zijn:

- *(Letsel)ongevalrisico*: het aantal (letsel)ongevallen per miljoen afgelegde motorvoertuigkilometers.
- *Fataal risico*: het aantal doden per miljoen afgelegde motorvoertuigkilometers.

Bij risico's gaat het over negatief te waarderen gebeurtenissen waarbij het niet zo is dat een vergelijkbare verwachtingswaarde altijd leidt tot een vergelijkbare maatschappelijke acceptatie. Er zijn factoren bekend die aangeven waarom bepaalde risico's hoger of lager gewaardeerd worden: vrijwillig of onvrijwillig gelopen risico's, beheersbaarheid van risico's, één slachtoffer of vele, anonimiteit van een slachtoffer, enzovoort.

1.3 Historisch overzicht verkeersveiligheid

Door de jaren heen is zeer verschillend aangekeken tegen de oorzaken van verkeersongevallen en hoe deze het beste vermeden zouden kunnen worden (overgenomen uit: Wegman 2001a).

Periode:	Karakteristiek:
1900-1920	Ongevallen als kansverschijnsel
1920-1950	Ongevallen veroorzaakt door brokkenmakers
1940-1960	Mono-causale oorzaken van ongevallen
1950-1980	Een combinatie van ongevaloorzaken binnen een 'systeembenadering'
1980-2000	De mens is de zwakke schakel: meer gedragsbeïnvloeding
2000-	-Betere uitvoering van bestaand beleid -Duurzaam Veilig: het systeem aanpassen aan de mens

Ongevallen werden oorspronkelijk als een kansverschijnsel beschouwd dat iedereen, overal, altijd 'willekeurig' zou kunnen treffen (1900-1920). Dit leidde er veelal toe dat ieder ongeval apart bestudeerd werd om (lokale) maatregelen af te kunnen leiden ter voorkoming van deze ongevallen. Er was daarbij overigens ook meer aandacht voor het verminderen van de gevolgen van ongevallen, dan voor het voorkomen ervan. Ongevallen werden beschouwd als een 'noodlot' inherent aan motorisering.

In de volgende fase (1920-1950) werd geprobeerd om de schuldvraag van ongevallen te beantwoorden. Allereerst kreeg dit zijn neerslag in wetgeving en bovendien had of kreeg de politie een dominante positie in de zorg voor de veiligheid op de weg. Een verbijzondering van deze gedachte was het zoeken naar de brokkenmaker. Deze werd echter niet gevonden, het bleek eerder om pechvogels te gaan (Koorstra 1978). De aanpak in deze periode van de verkeersonveiligheid had nogal wat moralistische trekjes ('wees een heer in het verkeer').

De volgende fase (1940-1960) werd gekenmerkt door het zoeken van de echte oorzaken van ongevallen, waarbij een zekere voorkeur leek te liggen in het vinden van eenvoudig vast te stellen factoren, vaak technisch van aard, bij voorkeur niet te gecompliceerd: gebrek aan rijervaring, slechte banden of remmen, slecht weer of glad wegdek, het gebruik van alcohol, gevaarlijke kruispunten ('black spots').

Daarna kwam de systeembenadering in zwang (1950-1980). De Haddon-matrix is hierbij te gebruiken als structurerend principe (Haddon 1972), later is geprobeerd meer integraal naar verkeersveiligheid te kijken (*Integrated road safety programmes*. OECD, 1984).

Tabel 1.1. Matrix voor de classificatie van factoren van invloed op de verkeersveiligheid volgens Haddon (1972) met voorbeelden.

Haddon-matrix	Mens	Voertuig	Weg
Voor het ongeval (Pre-crash)	Rijden onder invloed	Gladde banden	Wegverlichting
Tijdens het ongeval (Crash)	Autogordels dragen	Kreukelzone	Vangrail
Na het ongeval (Post-crash)	Beveiliging van ongevallocatie	Brandwerend	Praatpalen

Aan het begin van de jaren tachtig ontstond wereldwijd een meer mens gerichte aanpak. De dominantie van politie en verkeersingenieur verdween en het besef drong door dat 'de mens' de zwakke schakel in het verkeer is en dat er meer aandacht moet zijn voor menselijk gedrag

in relatie tot de fysieke omgeving. Ideën omtrent risicocompensatie of zelfs risicohomeostase kwamen op. Hiermee wordt bedoeld dat verkeersdeelnemers zich gevaarlijker gaan gedragen (bijvoorbeeld door harder te rijden) als de weg of het voertuig veiliger worden. Bij risicohomeostase zou de veiligheidswinst van dergelijke verbeteringen nul zijn. Deze theorie is overigens niet houdbaar gebleken. Gedragsbeïnvloeding via een betere educatie, voorlichting, rijopleiding en toezicht door de politie op het menselijk gedrag kregen veel aandacht (Wegman 2001a).

1.4 Fasemodel

In de dynamische systeembenadering staat het fasemodel van het verkeer- en vervoerproces centraal als een middel om het verschijnsel verkeersonveiligheid te structureren. Naast dit fasemodel zijn theorieën nodig over processen betreffende vervoer, verkeer en verkeersonveiligheid; zoals verkeersstroomtheorieën, gedragstheorieën en botsingstheorieën. Op het elementaire niveau gaat het om de weggebruiker die zich verplaatst en aan het verkeer deelneemt. In het fasemodel zijn de fasen van het verkeer- en vervoers(onveiligheid)proces onderscheiden naar de aard van de gedragsalternatieven, die een weggebruiker heeft om een in gang gezet 'ongevalproces' onder controle te kunnen krijgen. Deze fasen zijn hieronder nader beschreven. (Koornstra 1996, zie ook figuur 1.1 in bijlage 1).

-Reis- of vervoersituatie

Het besluit elders een activiteit te gaan verrichten, zoals het bezoeken van familie, maakt een verplaatsing noodzakelijk. De aard van het reisdoel, het reismotief, de gekozen vervoerwijze, de route en het reisschema vormen tezamen het vervoergedrag of het reisgedrag. De omstandigheden waarin (of waaronder) een weggebruiker zich verplaatst, worden aangeduid als de reis- of vervoersituatie. Deze omstandigheden kunnen al faalkansen in zich bergen c.q. een potentiële verliesfunctie hebben.

-Verkeerssituatie

Het verkeersgedrag van een weggebruiker, uitgelokt door vervoer-/reis- en verkeersomstandigheden (met name voertuig-, verkeer- en wegeigenschappen) en anticiperend op mogelijke discontinuïteiten van het wegverloop en ontmoetingen wordt gevormd door de snelheid, de koers en (laterale) positie op de weg en in de verkeersstroom en de waakzaamheid. Het uitgelokte en anticiperende verkeersgedrag is te beschouwen als een continu verlopende toestandverandering (snelheid, koers en laterale positie): het volgen van de weg en het volgen in een stabiele verkeersstroom.

-Ontmoetingssituatie

Elke toestandverandering kan tot (een verandering van) faalkansen leiden: ontmoetingen met andere weggebruikers, maar ook instabiliteit van een verkeersstroom, discontinuïteiten in het wegverloop, etc. Door op tijd en adequaat te reageren worden vele van deze faalkansen moeiteloos 'weggeregeld'. Het afremmen of versnellen, uitwijken naar links of naar rechts, het verhogen van de waakzaamheid vormen tezamen de mogelijkheden van een weggebruiker voor dit reactieve verkeersgedrag.

-Incidentsituatie

Niet op tijd en/of in onvoldoende mate reageren door een verkeerde inschatting van de situatie of door gebrek aan informatie of ervaring betekent een toename van de faalkans. De tijd voor handelen is zeer kort geworden en de mogelijkheden vaak zeer beperkt. Er is sprake van een incident. Een noodmanoeuvre is dan nog het enige waarmee de weggebruiker een ongeval kan voorkomen. Abrupt uitwijken, een noodremming en aanspraak op 'levensreddende' reflexen vormen tezamen het noodmanoeuvregedrag. Worden deze noodmanoeuvres succesvol uitgevoerd en blijft het voertuig op de rijbaan zonder iets te raken, dan spreken we van een conflict: een bijna-ongeval. Vaak ontstaan echter ook weer nieuwe faalkansen tijdens of ten gevolge van de noodmanoeuvre. Een kettingstoring kan bijvoorbeeld ontstaan voor andere weggebruikers wanneer een voertuig tijdens de noodmanoeuvre op de andere wegheeft is gekomen (tegenliggers) of tot stilstand is gekomen op de eigen wegheeft (achteropkomend verkeer). Dan 'start' in feite een nieuw 'ongevalproces', nu voor de andere weggebruiker(s).

-Botsituatie

Bepalend voor de afloop van een ongeval zijn de bots-snelheid, de inrijhoek en het aangrijpingspunt van de botsing. Deze vormen tezamen het botsgedrag van het voertuig (en gedeeltelijk ook van de inzittenden) en het botsobject. Een kettingstoring kan ook hier ontstaan. De kans op schade en letsel, het schade- en letselpatroon is niet alleen afhankelijk van het botsgedrag van botsend object en botsobject. Botsomstandigheden, zoals eigenschappen van voertuigexterieur en -interieur en incasseringsvermogen van inzittenden zijn van grote invloed, evenals het dragen van autogordels, helmen, etc.

-Letsel- en schadesituatie

Na de botsfase is er de letsel- en schadesituatie. Dit vangt aan bij de signalering en melding van het ongeval, gevolgd door eerste hulp, zo mogelijk van medische aard, transport van gewonden en ten slotte behandeling. Het afvoeren van beschadigde vervoermiddelen spreekt voor zich. In het gehele hulpverleningsproces doen zich faalkansen voor die van invloed zijn op het schade- en letselpatroon.

-Behandeling- en revalidatiesituatie

De behandeling- en revalidatiesituatie omvat de medische diagnose, de toegepaste therapie en de nazorg. Ook hier treden weer faalkansen op, bijvoorbeeld door onjuiste diagnoses of niet toereikende organisatie in de traumatologische afdelingen van ziekenhuizen, etc..

1.5 Nationaal beleid verkeersveiligheid

Nederland was het eerste land dat kwantitatieve doelstellingen voor verkeersveiligheid heeft geformuleerd in het Meerjarenplan Verkeersveiligheid (MPV) van 1987. Voor het jaar 2000 had het MPV als doelstelling: 25% minder verkeersslachtoffers ten opzichte van 1985. Volgens de Planwet Verkeer en Vervoer, in werking getreden op 17 juli 1998, moet er een nationaal plan zijn waarin de hoofdlijnen van het verkeer- en vervoersbeleid worden beschreven. Het tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer van 1991 (SVV-II) stelde als doel voor het jaar 2010 50% minder doden en 40% minder gewonden in het wegverkeer te hebben dan in 1986. Om deze doelen te halen werden twee wegen bewandeld: De eerste weg bestond uit de 'speerpunt'-benadering waarin gefocust werd op alcohol, snelheid en beschermingsmiddelen. De tweede weg behelst de meer preventieve benadering van duurzame veiligheid door het aanpassen van de weginfrastructuur aan de mogelijkheden en beperkingen van de verkeersdeelnemers. Dit concept wordt gedoopt als 'duurzaam veilige weginfrastructuur' of kortweg 'Duurzaam Veilig'.

Het (concept) Nationaal Verkeer- en Vervoersplan 'Van A naar Beter' (NVVP 2000) is de opvolger van het SVV-II. Het NVVP richt zich op het integrale beleid voor personen- en goederenvervoer over weg, water, rail en buisleidingen. Het NVVP probeert antwoord te geven op de vraag hoe de komende jaren moet worden omgegaan met mobiliteit, bereikbaarheid, veiligheid en leefbaarheid. De hoofddoelstelling van het NVVP is:

Nederland biedt aan iedereen een doelmatig, veilig en duurzaam functionerend verkeer- en vervoerssysteem, waarvan de kwaliteit voor de individuele gebruiker in een goede verhouding staat tot de kwaliteit voor de samenleving als geheel.

Sinds het verschijnen van het SVV-II is de veiligheid op de Nederlandse wegen verbeterd, maar de maatschappelijke kosten van verkeersonveiligheid zijn nog steeds te hoog. De ruim duizend dodelijke slachtoffers en circa 18.000 ziekenhuisgewonden per jaar in het wegverkeer betekenen een enorme maatschappelijke en individuele schade, materieel en immaterieel. Het NVVP handhaaft de kwantitatieve doelstellingen uit het SVV-II. Deze doelstellingen voor het jaar 2010 zijn als volgt:

- Daling van het aantal verkeersdoden tot 760 per jaar; dat is een reductie van 32% t.o.v. 1998.
- Daling van het aantal gewonden dat in een ziekenhuis opgenomen moet worden tot 13.000 per jaar; dat is een reductie van 25% t.o.v. 1998.

Om een tweetal redenen is deze doelstelling ambitieus. Ten eerste moet een achterstand worden ingehaald bij het terugbrengen van het aantal ziekenhuisgewonden. Ten tweede groeit de mobiliteit sterker dan tien jaar geleden werd verwacht. Het vasthouden aan het

absolute doel betekent dus in de praktijk een grotere ambitie, zeker omdat de wet van de verminderde meeropbrengst zich doet gelden en dus steeds duurdere maatregelen genomen zullen moeten worden.

In het voorjaar van 2002 is echter het concept NVVP door de Tweede Kamer verworpen en zijn er geen financiële middelen gereserveerd voor de uitvoering. Voor de realisatie van het veiligheidsdeel van het NVVP was een 'claim' ingediend bij de Interdepartementale Commissie Economische Structuurversterking (ICES) voor de besteding van een deel van het Fonds Economische Structuurversterking (FES). Deze ICES-gelden, die van cruciaal belang zijn voor de financiering van het verkeersveiligheidsbeleid, komen nu niet beschikbaar. Hierdoor heeft het kabinet Balkenende-I de doelstellingen bijgesteld naar een reductie van het aantal verkeersdoden tot maximaal 950 (i.p.v. 760) en van het aantal ziekenhuisgewonden tot maximaal 17 500 (i.p.v. 13.000) in 2010. Tot nu toe zijn er nog geen voorstellen voor een nieuw NVVP, maar is er wel een nota Mobiliteit in voorbereiding.

Hoofdstuk 2 Inventarisatie verkeersonveiligheid

In dit hoofdstuk wordt de onveiligheid op de Nederlandse wegen in kaart gebracht aan de hand van verkeers- en ongevalskenmerken. Hiertoe wordt het wegennet opgedeeld in wegtypen met bijbehorende kenmerken als weglengte, intensiteit en aantal letselongevallen, slachtoffers en doden. Verschillende onveilige situaties kunnen onderscheiden worden: wegvakken, kruisingen en ongevallen met snel of langzaam verkeer. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in de verkeersonveiligheid van deze onveilige situaties in het verleden en wat er in de toekomst zal veranderen na invoering van Duurzaam Veilig. De resultaten van dit hoofdstuk zijn de risico's per onveilige situatie in 1986 en een schatting voor de situatie in 2010.

2.1 Kencijfers van 1986 tot 1998

De absolute aantallen letselongevallen, slachtoffers en doden zijn niet de enige maat waarin de verkeersonveiligheid kan worden uitgedrukt. De onveiligheid kan ook gerelateerd worden aan de hoeveelheid verkeer en de omvang van het wegennet. Hiertoe wordt het wegennet opgedeeld in wegtypen met bijbehorende kenmerken als weglengte en verkeersprestatie. Voor het schatten van het effect van toekomstige infrastructurele maatregelen en de introductie van ADA-systemen is niet alleen inzicht in aantallen ongevallen, maar ook in ongevalrisico's gewenst.

Kwantitatieve kenmerken van het verkeer en de ongevallen op de wegen worden uitgedrukt in zogenaamde kencijfers. Kencijfers kwantificeren de onveiligheid van huidige wegtypen zowel in absolute en als in relatieve maten. Tabel 2.1 geeft een overzicht van diverse kencijfers voor de jaren 1986, 1990 en 1998.

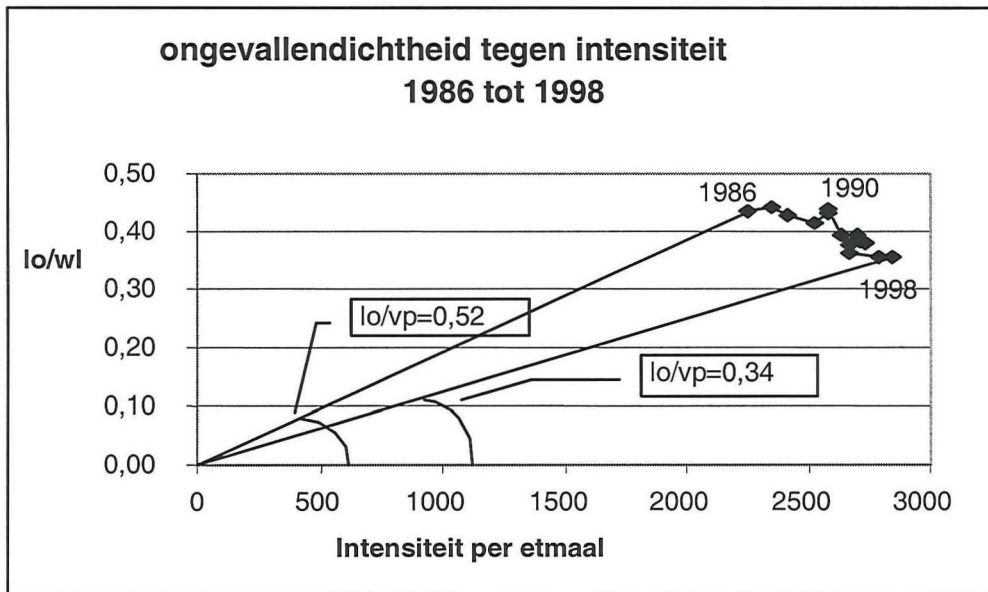
Tabel 2.1: Kencijfers Nederlandse wegen 1986-1998 (bron: CBS en AVV/BG).

Jaar	Weglengte	Etmaal-intensiteit	Verkeers-prestatie	Letsel-ongevallen	Slacht-offers	Doden	Ongeval-dichtheid	Ongeval-risico	Slachtoffer-dichtheid	Mortaliteit
jr	wl (km)	in (mvt/24h)	vp (mln mvtkm)	lo	sl	do	lo/wl (per km)	lo/vp (per mln mvtkm)	sl/lo	do/sl *100
1986	98.000	2400	85.000	44.000	52.000	1527	0,44	0,52	1,19	2,95
1990	103.000	2600	97.000	45.000	53.000	1376	0,44	0,46	1,19	2,58
1998	116.000	2800	120.000	41.000	50.000	1066	0,36	0,34	1,23	2,11
'98/'86	1,18	1,21	1,43	0,95	0,98	0,71	0,81	0,66	1,03	0,71

In tabel 2.1 is te zien dat van 1986 tot 1998 de totale weglengte met 18% is toegenomen. De verkeersprestatie is met 43% toegenomen. Op de autosnelwegen is de verkeersprestatie ($vp = wl \times in \times 365$ dagen) het sterkst gegroeid: ruim 50%. (niet in de tabel, Janssen 2002) De gemiddelde intensiteit ligt in 1998 op 2.800 autopassages per etmaal, voor autosnelwegen op bijna 60.000. Het aandeel autosnelweg in de totale hoeveelheid autoverkeer is gestegen van 33 tot 40%. Het totale aantal letselongevallen is met 5% gedaald en het aantal verkeersdoden met 30%. Per afgelegde motorvoertuig-kilometer daalt het aantal letselongevallen sterker (34%) en het aantal verkeersdoden nog sterker (51%). Voor de autosnelweg is deze daling minder sterk.

Samenvattend kan worden opgemerkt dat ondanks de toename van de weglengte (wl), de gemiddelde intensiteit per etmaal (in) en (dus) de verkeersprestatie (vp) de jaarlijkse aantallen letselongevallen (lo) en doden (do) zijn gedaald. Als gevolg hiervan daalde tevens het aantal letselongevallen per kilometer weglengte (de ongevalendichtheid, lo/wl) en het aantal ongevallen per miljoen afgelegde motorvoertuigkilometers (lo/vp). Opmerkelijk is dat de mortaliteit (do per 100 slachtoffers) ook is gedaald, maar dat de slachtofferdichtheid (sl/lo) bleef stijgen ondanks het veiliger worden van voertuigen en infrastructuur.

In onderstaande figuur 2.1 is de ongevalendichtheid uitgezet tegen de intensiteit. De helling van een lijn door de oorsprong en een punt in de grafiek komt overeen met het aantal letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometers ($lo/wl / (in * 365) = lo/vp$). Dit kencijfer wordt vaak gebruikt als de risicomaat van de wegtypen en wordt het letselongevalrisico genoemd of kortweg risico (zie paragraaf 1.2).



Figuur 2.1: Ongevallendichtheid uitgezet tegen de etmaalintensiteit van '86 t/m '98.

In de figuur is te zien dat het ongevalrisico daalde van 0,52 naar 0,34 ongevallen per miljoen motorvoertuigkilometers, ondanks de toename van de gemiddelde etmaalintensiteit van 2400 naar 2800 motorvoertuigen. Ten opzichte van 1986 is er ondanks een constante toename van de verkeersprestatie sprake van een daling van het ongevalrisico met gemiddeld 3,5% per jaar. Deze daling is – naar men hoopt – het resultaat van verkeersveiligheidsmaatregelen op het gebied van de weginfrastructuur, voertuigen, verkeerseducatie, voorlichtingcampagnes en (snelheids)handhaving (SWOV 1992).

2.2 Kencijfers per wegtype in 1986

Tegenwoordig wordt het wegennet gecategoriseerd naar de functies volgens Duurzaam Veilig. Later in dit hoofdstuk wordt dit uitgewerkt. De oude indeling naar wegtype volgens tabel 2.2 wordt nog steeds gebruikt. Buiten de bebouwde kom zijn de wegen ingedeeld in 4 wegtypen volgens de ROA en oude RONA: autosnelweg, autoweg, weg met geslotenverklaring voor langzaam verkeer en weg voor alle verkeer. Binnen de kom zijn 2 typen onderscheiden: verkeersader en woonstraat. De laatste kan uitgesplitst worden naar een derde type, het woonerf.

Tabel 2.2: Oude indeling naar wegtype volgens ROA en oude RONA.

bubeko	wegtype	uitsplitsing banen x stroken	sub-type
AS	autosnelweg	2x3, 2x4, 2x5 2x2	AS>4s AS-4s
AW	autoweg	2x1, 2x2 1x2	AW-2b AW-1b
WG	weg met geslotenverklaring voor langzaam verkeer	2x1 1x2	WG-2b WG-1b
WA	weg voor alle verkeer	1x2 1x1	WA-1b WA-1s
bibeko			
VA	verkeersader binnen de kom	2x1, 1x2	WGbi-2b WGbi-1b WAbi-2b WAbi-1b
WS WE	woonstraat woonerf		

Buiten de kom:

- AS: autosnelweg;
- AW-2b: dubbelbaans autoweg;
- AW-1b: enkelbaans autoweg;
- WG-2b: dubbelbaansweg gesloten voor langzaam verkeer;
- WG-1 b: enkelbaansweg gesloten voor langzaam verkeer;
- WA-2s: enkelbaansweg met twee rijstroken voor alle verkeer;
- WA-1 s: enkelbaansweg met een rijstrook voor alle verkeer (2 richtingen).

De verkeersaders binnen de kom:

- WG-2b: dubbelbaansweg gesloten voor langzaam verkeer;
- WG-1 b: enkelbaansweg gesloten voor langzaam verkeer;
- WA-2b: dubbelbaansweg voor alle verkeer;
- WA-1b: enkelbaansweg voor alle verkeer.

Uitgaande van de definitie op pagina 1 valt een deel van de autowegen en wegen met geslotenverklaring onder het OVN. In de rest van dit hoofdstuk zal gefocust worden op de AW en WG-wegtypen (buiten en binnen de kom). Aan de hand van steekproeven zijn kencijfers bepaald per (sub-)wegtype voor het jaar 1986 en weergegeven in tabel 2.3. Dit is het meest recente jaar waarvoor de cijfers op dit detailniveau compleet zijn.

Tabel 2.3: Kencijfers per (sub-)wegtype voor het jaar 1986 bron BIS-V.

1986	Weglengte	Etmaal-intensiteit	Verkeers-prestatie	Letsel-ongevallen	Doden	Ongeval-dichtheid	Ongeval-risico	Fataal-risico
	(km)	(mvt/h)	(mln mvtkm)			(per km)	(per mln mvtkm)	(per mln mvtkm)
bubeko	wl	in	vp	lo	do	lo/wl	lo/vp	do/vp
AS>4s	242	81.252	7.177	476	30	1,97	0,066	0,004
AS 4s	1.761	31.451	20.216	1.500	111	0,85	0,074	0,005
AW-2b	197	16.957	1.220	182	17	0,92	0,149	0,014
AW-1b	2.108	5.877	4.522	475	79	0,23	0,105	0,017
WG-2b	252	18.314	1.685	455	40	1,81	0,270	0,024
WG-1b	6.537	4.927	11.756	3.540	239	0,54	0,301	0,020
WA-2s	11.719	1.396	5.971	3.055	224	0,26	0,512	0,038
WA-1s	31.702	314	3.633	3.102	217	0,10	0,854	0,060
subtotaal	54.518	2.823	56.179	12.785	957	0,23	0,228	0,017
bibeko	wl	in	vp	lo	do	lo/wl	lo/vp	do/vp
WGbi-2b	1.925	9.407	6.609	6.086	116	3,16	0,921	0,018
WGbi-1b	2.961	5.451	5.891	6.732	128	2,27	1,143	0,022
WAbi-2b	405	4.040	598	2.304	44	5,68	3,855	0,074
WAbi-1b	6.228	2.508	5.700	9.888	189	1,59	1,735	0,033
WS	32.142	649	7.614	5.754	94	0,18	0,756	0,012
WE	1.339	318	155	32	0	0,02	0,206	0,000
subtotaal	45.000	1.617	26.567	30.796	571	0,68	1,159	0,021
totaal	99.518	2.278	82.747	43.581	1.528	0,44	0,527	0,018

De totale weglengte is in het peiljaar 1986 bijna honderdduizend kilometer. Daarop is door motorvoertuigen 83 miljard kilometers afgelegd, hetgeen een gemiddelde van bijna 2.300 motorvoertuigpassages per dag betekent. De eerste uitsplitsing is naar bebouwing. Binnen de kom ligt de etmaalintensiteit aanzienlijk lager dan buiten de kom, ongeveer de verhouding 40/60. Uiteraard zijn de intensiteitsverschillen tussen de wegtypen groot. Bijvoorbeeld op autosnelwegen is de gemiddelde intensiteit ruim 37 duizend voertuigen per dag, terwijl het woonerf ongeveer 300 motorvoertuigen per dag telt. De verkeersader binnen de kom blijkt de meeste letselongevallen te hebben, 1,33 per miljoen afgelegde motorvoertuigkilometers. Bekijken we de meer ernstige ongevallen dan blijkt dat het aantal doden op wegen buiten de kom ruim 60% bedraagt van het totale aantal verkeersdoden in Nederland voor 1986. Bijna de helft van het aantal doden buiten de kom is geregistreerd op de wegen voor alle verkeer. Dat wegtype heeft in 1986 ook het hoogste fatale risico. Als deze weg uitgevoerd is met één

strook voor beide richtingen (WA-1s) dan bedraagt het ongevalrisico 0,85 letselongevallen en het fatale risico 0,06 doden per miljoen kilometers.

De autosnelweg (met meer dan 2x2 stroken) is in 1986 veruit het veiligste wegtype (met een ongevalrisico van 0,066 letselongevallen en een overlijdensrisico van 0,004 doden per miljoen autokilometers). Hoewel ook de autosnelwegen nog veiliger kunnen, wordt er naar gestreefd deze risico's in de toekomst ook op de overige wegen te halen. Daarom wordt in deze studie de autosnelweg (of stroomweg) meegenomen als referentie voor de veiligheid van het onderliggend wegennet. Binnen het OWN valt op dat het fatale risico ongeveer gelijk is buiten (WG) en binnen de kom (WGbi). Het letselongevalrisico is echter binnen de kom 3 à 4 keer zo hoog. Het absolute aantal ongevallen met letselslachtoffers is buiten de kom met ca. 5.000 veel minder dan de ca. 13.000 binnen de kom. Het absolute aantal dodelijke slachtoffers dat valt op het OWN is buiten de kom met 375 groter dan de 275 doden die binnen de kom vallen. Vooral de 279 doden – dat is 18% van alle verkeersdoden – op wegen met geslotenverklaring buiten de kom (WG) verdienen extra aandacht. Als gevolg hiervan heeft de dubbelbaansweg met geslotenverklaring buiten de kom (WG-2b) het hoogste fatale risico van het OWN. Gezien de (economische, maatschappelijke en politieke) waarde van dodelijke verkeersslachtoffers spelen die absolute aantallen een belangrijke rol in de verkeersveiligheidsdiscussie. Daarom worden de wegen buiten de kom (van het OWN) ondanks het lagere letselongevalrisico toch als onveilig bestempeld.

Tot dusver is in de beschouwing van de ongevallen per wegtype geen onderscheid gemaakt tussen wegvakken en kruisingen (locatietype) of tussen snel en langzaam verkeer (verkeertype). Een uitsplitsing naar wegvak en kruising is van belang omdat de functies ervan sterk verschillen. Op het wegvak 'stroomt' het verkeer en op de kruising vindt 'uitwisseling' plaats van verkeer. Vooruitlopend op hoofdstuk 4 is met het oog op de toepassingsmogelijkheden van de diverse ADAS een uitsplitsing gewenst naar ongevallen tussen snelverkeer onderling, snel met langzaam en snelverkeer met een eenzijdig ongeval. In de volgende paragrafen wordt hier op ingegaan. Wanneer op een dergelijk detailniveau naar ongevallen en risico's wordt gekeken zijn dodelijke slachtoffers (of -ongevallen) niet meer bruikbaar en wordt alleen nog met letselongevallen gewerkt. Hierbij dient wel in het achterhoofd gehouden te worden dat het fatale risico anders verdeeld is over de wegtypen dan het letselongevalrisico.

2.3 Kencijfers voor wegvakken en kruisingen

Van de letselongevallen in Nederland vindt in de periode 1986-1990 ongeveer de ene helft plaats op wegvakken en de andere helft op kruisingen. Buiten de kom gebeuren er ongeveer 66% op wegvakken en 34% op kruisingen. Op de verkeersaders binnen de kom is de verhouding precies anders om. Aan de hand van het totale risico en de procentuele verdeling van letselongevallen over wegvakken en kruisingen is het risico per wegvak en per kruising te bepalen. Dit betekent dat zowel het aantal ongevallen op een wegvak als het aantal ongevallen op een kruising gedeeld wordt door aantal voertuigkilometers (verkeersprestatie) op het wegvak. Tabel 2.4 toont de verdeling van de letselongevallen over wegvak en kruising.

Tabel 2.4: Verdeling letselongevallen over wegvak en kruising in Nederland 1986.

Letselongevallen 1986-1990	aandeel		kencijfer ongevalrisico		
	wegvak	kruising	wegvak lo(w)/vp	'kruising' lo(k)/vp	totaal lo/vp
bubeko	66%	34%	0,15	0,08	0,23
bibeko (VA)	33%	67%	0,44	0,89	1,33
totaal (excl. WS en WE)	50%	50%	0,25	0,25	0,50

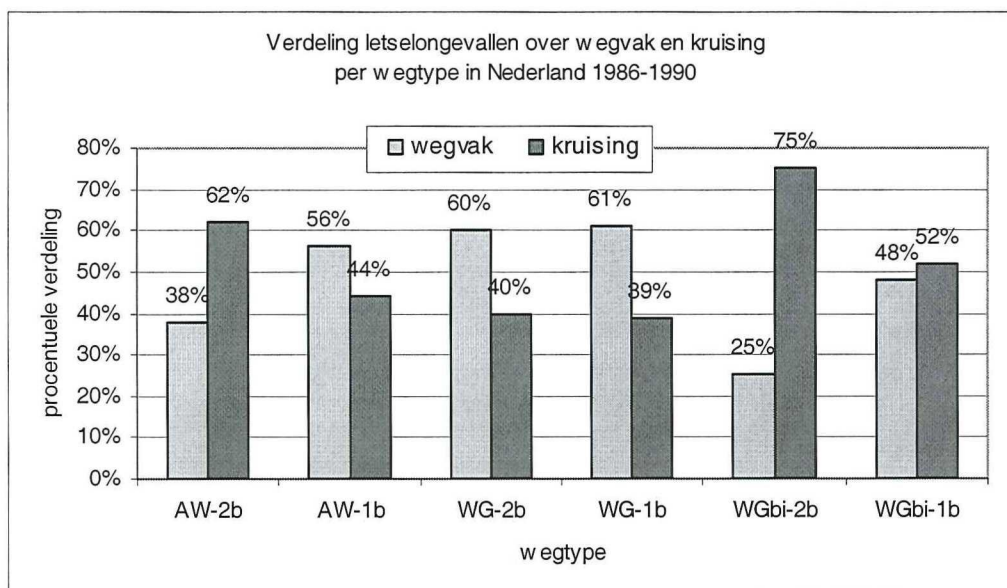
De verdeling van ongevallen over wegvakken en kruisingen heeft in eerste instantie meer te maken met de kruisingdichtheid dan met het feit dat kruisingen binnen de kom gevaarlijker zijn dan daar buiten. Hoe meer kruisingen per kilometer weg hoe groter de kans dat het ongeval op een kruispunt gebeurt. De kruispunt-dichtheid is binnen de kom veel groter (tabel

2.5). In hoofdstuk 3 wordt het risico op kruisingen bepaald op basis van het absolute aantal ongevallen op kruisingen (is bekend) ten op zichte van het aantal voertuigen per kruising per jaar (vp', geschat) in plaats van aantal voertuigkilometers op het wegvak.

Tabel 2.5: Aantal kruisingen en kruispunt dichtheid volgens VVR in 1998.

kruising	aantal	per km weglengte	tussenafstand (km)
AS	481	0,20	5,00
AW	924	0,40	2,50
WG	9911	1,20	0,83
WA	22893	0,50	2,00
VA	70977	4,90	0,20
WS	214225	5,00	0,20
totaal	319411	2,75	0,36

Figuur 2.2 en tabel 2.6 geven de verdeling van ongevallen op wegvakken en kruisingen per wegtype. De verkeersader binnen de kom is uitgesplitst naar wegen met gesloten verklaring en wegen voor alle verkeer. Inzomend op het OVN worden autosnelwegen, wegen voor alle verkeer, woonstraten en erven in het volgende beschouwingen niet meer meegenomen.



Figuur 2.2: Procentuele verdeling ongevallen op wegvak en kruising per wegtype in 1986-1990.

Buiten de bebouwde kom is op de wegtypen van het OVN de verdeling van de ongevallen op wegvak en kruising: 60/40 uitgezonderd AW-2b waar de verhouding precies andersom is. Binnen de kom is op de wegtypen van het OVN de verdeling op WGbi-2b 25/75 en op WGbi-1b ongeveer 50/50. Toch blijkt het ongevalrisico op deze twee kruisingen ongeveer gelijk.

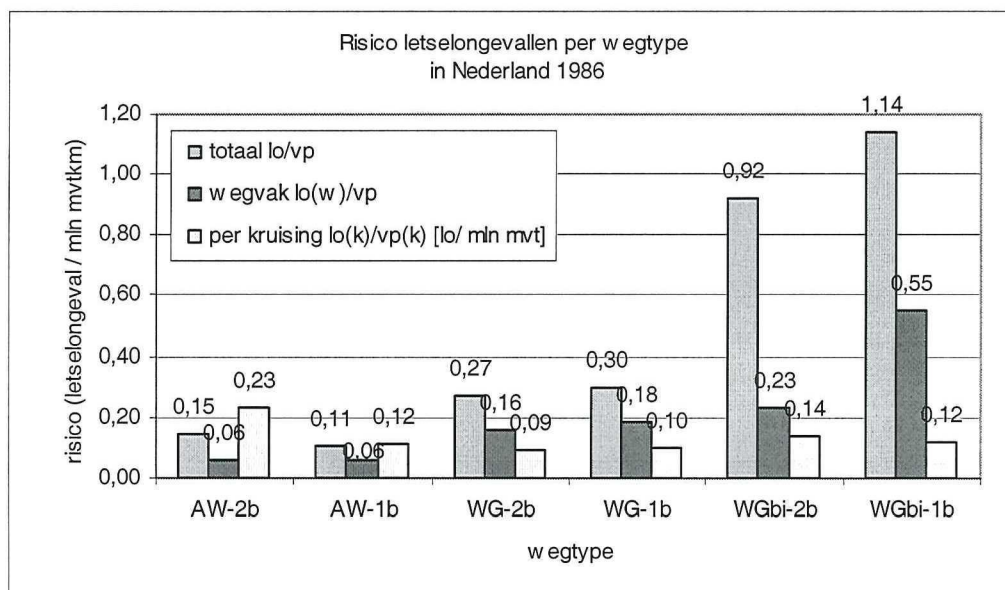
Figuur 2.3 en tabel 2.6 tonen ook de risico's per wegtype in 1986 en daarvan afgeleid de risico's op wegvakken en kruisingen. Het risico per kruising is geschat door het risicoverschil tussen totaal en wegvak (= 'kruising') te vermenigvuldigen met de tussenafstand per kruising uit tabel 2.5. Het op deze manier bepaalde risicocijfer heeft de dimensie letselongevallen per miljoen motorvoertuigen per kruising. Het aantal kruisingen is alleen bekend per wegtype en niet voor de onderverdeling in dubbel- of enkelsbaansweg (subtype). De risico's per kruising in tabel 2.6 zijn dan ook slechts een indicatie.

Tabel 2.6: Verdeling letselongevallen en kencijfers ongevalrisico per wegtype in Nederland 1986.

bubeko	aandeel		kencijfer ongevalrisico			
	wegvak	kruising	totaal lo/vp	wegvak lo(w)/vp	'kruising' lo(k)/vp	per kruising lo(k)/vp'(k)
AS	82%	18%	0,07	0,06	0,01	0,07
AW-2b	38%	62%	0,15	0,06	0,09	0,23
AW-1b	56%	44%	0,11	0,06	0,05	0,12
WG-2b	60%	40%	0,27	0,16	0,11	0,09
WG-1b	61%	39%	0,30	0,18	0,12	0,10
bibeko						
WGbi-2b	25%	75%	0,92	0,23	0,69	0,14
WGbi-1b	48%	52%	1,14	0,55	0,59	0,12

Letselongevallen, steekproeven 1986-1990, kencijfer 1986; [vp]=mln mvtkm en [vp']=mln mvt

Op wegvakken buiten de kom is het letselongevalrisico het hoogst voor wegen met geslotenverklaring (WG-2b en WG-1b). Binnen de kom is dit risico groter en het grootst voor de enkelbaansweg met geslotenverklaring (WGbi-1b). Op kruisingen is het risico (per kruising, als indicatie) het hoogst voor de dubbelbaansautoweg buiten de kom (AW-2b). Wanneer het letselongevalrisico wordt gehanteerd als maat voor de onveiligheid op het OWN, dan kan geconcludeerd worden dat het wegvak van WGbi-1b (w) en de kruising van AW-2b (k) het onveiligst zijn. Hierbij kan opgemerkt worden dat in paragraaf 2.2 bleek dat het wegvak WGbi-1b (w) tevens het hoogste absolute aantal letselongevallen telt.

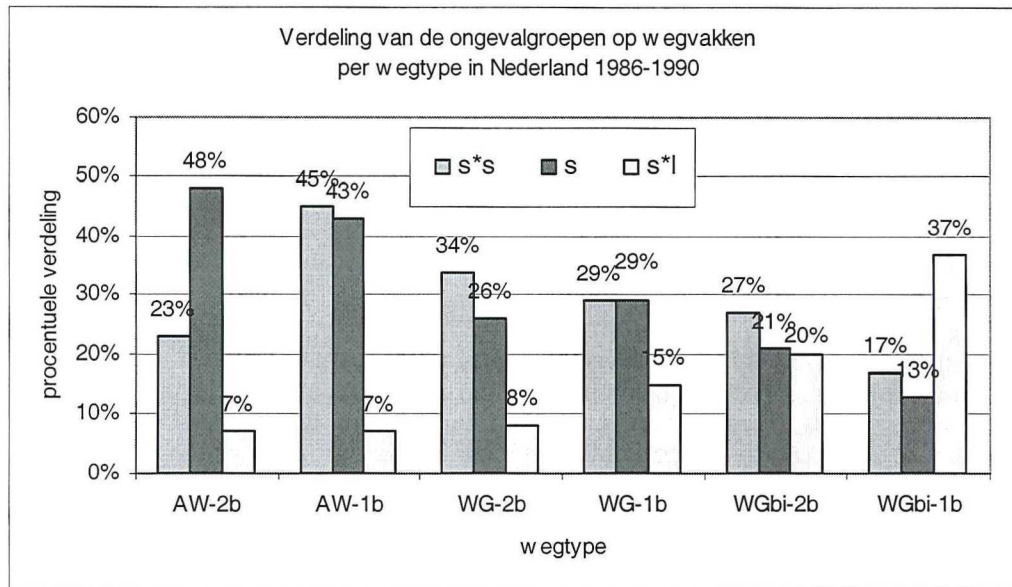


Figuur 2.3: Kencijfers ongevalrisico per wegtype in Nederland 1986.

2.4 Kencijfers uitgesplitst naar snel en langzaam verkeer

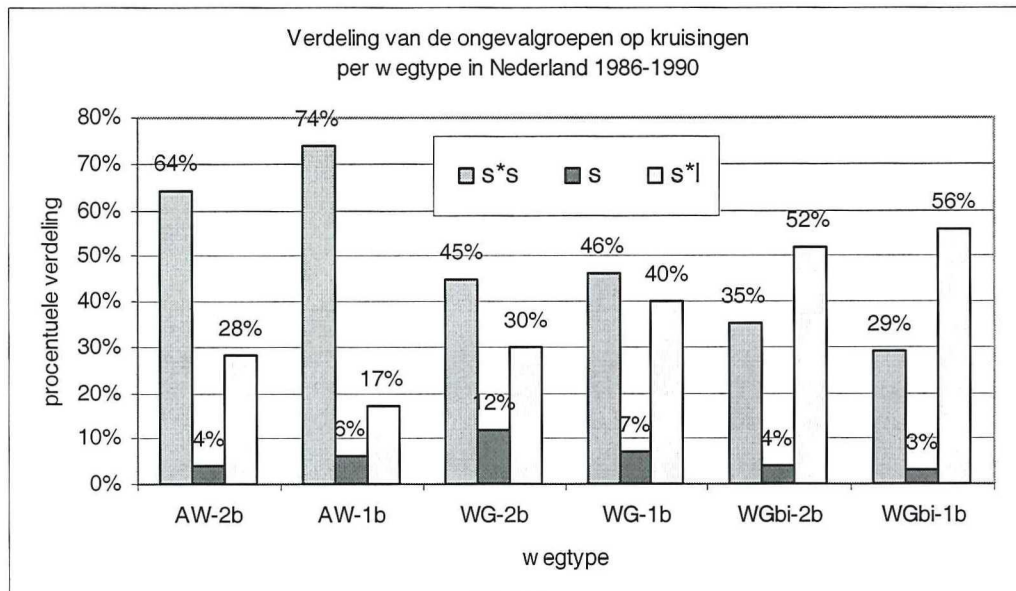
Aangezien ADA-systemen voertuiggebonden zijn en bijvoorbeeld alleen andere motorvoertuigen, alleen de weginfrastructuur of voetgangers detecteren, is het van belang een uitsplitsing naar snel en langzaam verkeer te maken. In de eerste ongevalgroep zijn letselongevallen samengenomen waarvan de betrokken voertuigen beide tot snelverkeer (s*s) gerekend kunnen worden, dus personenauto's, vrachtauto's, motorfietsen, kortom alle gemotoriseerde voertuigen die harder kunnen en mogen dan 60 km per uur. Binnen de ongevallen met uitsluitend snelverkeer worden ongevallen met één betrokkene apart gehouden. Dit wordt een enkelvoudig snelverkeer ongeval (s) genoemd en vormt de tweede groep in de tabel. De derde groep heeft betrekkenen uit beide verkeerssoorten: snel en

langzaam verkeer (s*I). De figuren 2.4 en 2.5 geven voor wegvak- en kruispuntongevallen de procentuele verdeling over de ongevalgroepen.



Figuur 2.4: Procentuele verdeling van de ongevalgroepen op wegvakken in 1986-1990.

Uit figuur 2.4 met wegvakongevallen is op te maken dat buiten de kom van het OVN bij meer dan de helft (56%-88%) van de wegvakongevallen uitsluitend snel verkeer (s*s + s) betrokken is. Binnen de kom spelen ongevallen met louter snel verkeer een minder dominante rol (30-48%). Hier springt het enkelbaanswegvak (WGbi-1b) in het oog met een hoog aandeel ongevallen tussen snel en langzaam verkeer (37%). Kijken we naar alle wegvakongevallen met snel verkeer (s*s + s + s*I) dan is dat percentage zowel buiten als binnen de kom hoog (67-96%).



Figuur 2.5: Procentuele verdeling van de ongevalgroepen op kruisingen in 1986-1990.

Uit figuur 2.5 met kruispuntongevallen is op te maken dat eenzijdige ongevallen een ondergeschikte rol spelen op kruisingen van het OVN. Buiten de kom is bij meer dan de helft (54-82%) van de kruispuntongevallen uitsluitend snel verkeer betrokken. Binnen de kom

spelen ongevallen met uitsluitend snel verkeer een minder dominante rol (32-39%). Hier springt de groep met ongevallen tussen snel en langzaam verkeer er uit met percentages van 52% tot 56%. Kijken we naar alle kruispuntongevallen met snel verkeer dan ligt dat percentage zowel buiten als binnen de kom tussen de 86% – 98%. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voertuiggebonden (lees: snel verkeergebonden) ITS-toepassingen op het OWN, zowel op wegvakken als op kruisingen, potentieel van toepassing zijn op het grootste deel van de ongevallen. Buiten de kom zullen ADAS-toepassingen die ongevallen met uitsluitend snelverkeer voorkomen een hoog potentieel effect hebben (bijv. ACC, Lane departure warning, ISA). Binnen de kom zullen ADAS die ongevallen tussen snel en langzaam verkeer voorkomen een hoge potentie hebben (bijv. Pedestrian detection, ISA). De voorkeur gaat daarom uit naar systemen die in beide situaties van toepassing zijn (bijv. ISA).

2.5 Categorisering volgens Duurzaam Veilig

Het concept Duurzaam Veilig (DV) gaat uit van 'de mens als de maat der dingen'. Door rekening te houden met de beperkingen van de mens en dit te vertalen naar de inrichting van de weginfrastructuur, wordt de kans op fouten beperkt. Bij DV wordt daarom gestreefd naar functioneel, homogeen en voorspelbaar gebruik (CROW 1997).

De drie uitgangspunten van Duurzaam Veilig zijn:

- *Functionaliteit*: de aan de weg toegewezen functie komt volledig tot zijn recht en het wegverkeer verdeelt zich over het netwerk zoals het was bedoeld;
- *Homogeniteit*: de ernstige conflicten zijn geëlimineerd en de snelheids- en massaverschillen tussen elkaar ontmoetende verkeersdeelnemers zijn gering;
- *Voorspelbaarheid*: verkeerssituaties zijn herkenbaar en het gedrag van de verkeersdeelnemers is voorspelbaar.

In tabel 2.7 zijn deze uitgangspunten uitgewerkt tot twaalf hoofdeisen.

Tabel 2.7. Eisen volgens Duurzaam Veilig (CROW 1997).

Eis volgens CROW:	Soort eis:
1. Realisatie van zo groot mogelijke aaneengesloten verblijfsgebieden	Algemeen
2. Minimaal deel van de rit over relatief onveilige wegen	Functionaliteit
3. Ritten zo kort mogelijk maken	
4. Kortste en veiligste route laten samenvallen	
5. Zoekgedrag vermijden	Herkenbaarheid en voorspelbaarheid
6. Wegcategorieën herkenbaar maken	
7. Aantal verkeersoplossingen beperken en uniformeren	
8. Conflicten met tegemoetkomend verkeer vermijden	Homogeniteit
9. Conflicten met kruisend en overstekend verkeer vermijden	
10. Scheiden van voertuigsoorten	
11. Snelheid reduceren op potentiële conflictpunten	
12. Vermijden van obstakels langs de weg	

Deze eisen zijn vertaald naar wegcategorieën met drie functies: *stromen*, gebieden *ontsluiten* en *toegang verlenen* tot erven. De zes 'oude' wegtypen moeten veranderen in zes nieuwe duurzaam-veilige wegcategorieën. Tabel 2.8 toont de functies met bijbehorende DV-wegcategorieën.

Tabel 2.8: Functies met bijbehorende wegcategorieën volgens Duurzaam Veilig.

Functie:	DV- categorie:
<i>Stromen</i>	<i>Stroomwegen</i>
-om van herkomst naar bestemming te komen	nationale stroomweg (NS) regionale stroomweg (RS);
<i>Ontsluiten</i>	<i>Gebiedsontsluitingswegen.</i>
-om een gebied binnen te gaan en weer te verlaten	gebiedsontsluitingsweg buiten de bebouwde kom (GOW-bu) gebiedsontsluitingsweg binnen de bebouwde kom (GOW-bi)
<i>Toegang verlenen</i>	<i>Erftoegangswegen.</i>
-om op het erf van een individuele woning, winkel of bedrijf te komen	erftoegangsweg buiten de bebouwde kom (ETW-bu) erftoegangsweg binnen de bebouwde kom (ETW-bi)

In de oude indeling hebben wegen vaak meer dan één functie, terwijl in een duurzaam-veilig wegennet elke weg maar één functie heeft. Samen vormen deze drie categorieën het wegennet. De weglengten van de 'oude' wegtypen worden globaal volgens tabel 2.9 verdeeld over de nieuwe categorieën:

Tabel 2.9: Overgang oude wegtypen naar nieuwe DV-categorieën (bron: VVR).

wegtype	wordt	wegcategorie	
<i>bubeko</i>			
Autosnelweg (AS)	100%	Nationale stroomweg (NS)	HWN
Autoweg (AW)	15%	Nationale stroomweg (NS)	HWN
	50%	Regionale stroomweg (RS)	OWN
	35%	Gebiedsontsluitende weg (GOW)	OWN
Weg met gesloten verklaring (WG)	13%	Regionale stroomweg (RS)	OWN
	81%	Gebiedsontsluitende weg (GOW)	OWN
	6%	Erftoegangs weg (ETW)	
Weg alle verkeer (WA)	1%	Gebiedsontsluitende weg (GOW)	
	99%	Erftoegangs weg (ETW)	
<i>bibeko</i>			
Verkeersader (VA)	57%	Gebiedsontsluitende weg (GOW)	OWN
	43%	Erftoegangs weg (ETW)	
Woonstraat (WS)	1%	Gebiedsontsluitende weg (GOW)	
	99%	Erftoegangs weg (ETW)	

Voordat de 'oude' wegtypen voldoen aan Duurzaam Veilig moeten diverse maatregelen getroffen worden. Deze duurzaam-veilige maatregelen worden gegroepeerd volgens de drie uitgangspunten:

1. Maatregelen op het gebied van *functietoekenning*: de wegen worden ingedeeld volgens drie functies: stromen, gebied ontsluiten en erven toegang bieden. Buiten de kom komen de categorieën alle drie voor, maar binnen de kom zijn stroomwegen (met volledig ongelijkvloerse kruisingen) niet noodzakelijk.
2. Maatregelen ter *voorkoming van ernstige conflicten*: ontmoetingen tussen kwetsbaar langzaam verkeer en snelverkeer (dat over het algemeen meer massa heeft en sneller rijdt), moeten vermeden worden. Daar waar deze ontmoetingen onvermijdelijk zijn, zal de rijnsnelheid aangepast moeten worden aan de kwetsbare verkeersdeelnemers. De belangrijkste mogelijkheden voor maatregelen liggen in het ontwerp van wegvakken en kruisingen.
3. Maatregelen die het *verkeersgedrag* meer *voorspelbaar* maken: continu aanwezige kenmerken moeten de verkeersdeelnemers informeren op welke wegcategorie ze zich bevinden. Per wegcategorie moet ook duidelijk zijn welk gedrag van de weggebruikers wordt verwacht. Bij discontinuïteiten, zoals kruisingen, moeten de vormgeving en de gedragsregels logisch en eenvoudig zijn.

Per overgang van wegtype naar wegcategorie zijn specifieke pakketten met infrastructurele maatregelen nodig om aan de duurzaam-veilig uitgangspunten te voldoen (tabel 2.10).

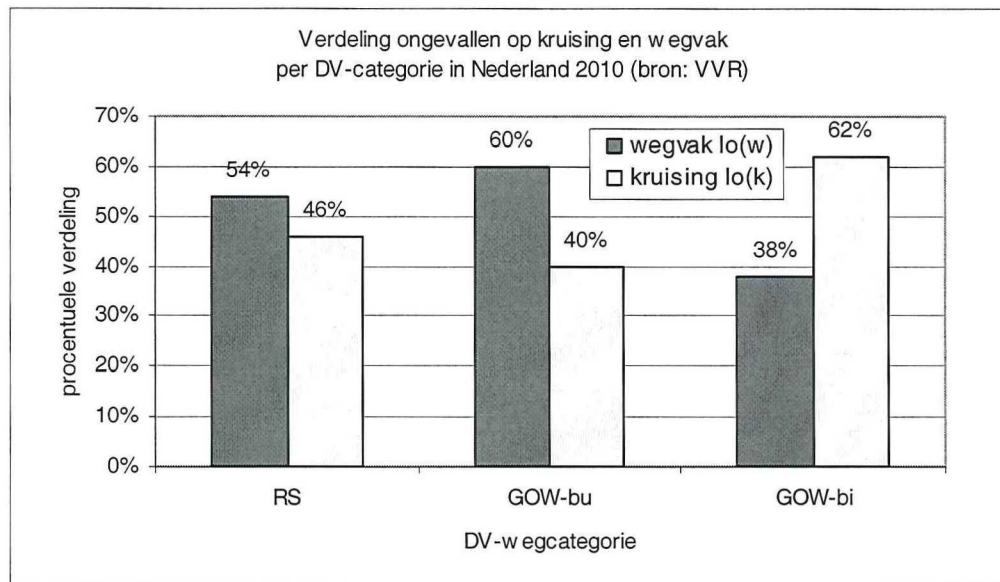
Tabel 2.10: Maatregelen bij overgang oude wegtypes naar nieuwe DV-categorieën (bron: Janssen 2002)

wegtype	DV-categorie	pakket met maatregelen
<i>bubeko</i>		
AS	SW	Dynamisch verkeersmanagement (DVM) en veilige bermen
AW-2b	SW	Ongelijkvloerse kruisingen, DVM en veilige bermen
AW-1b	SW	Rijrichtingscheiding, ongelijkvloerse kruising, DVM en veilige bermen
WG-2b	GOW	Rotondes of plateaus, geen erven, niet oversteken of parkeren, bredere fiets- en bromfietsvoorzieningen en parallelwegen
WG-1b	GOW	Rijrichtingscheiding, rotonde/plateau, geen erf, oversteek of parkeren, bredere fiets- en bromfietsvoorzieningen en parallelwegen
WA-1b	ETW	Snelheidsregime 60 i.p.v. 80 km/u met plateaus en markering
WA-1s	ETW	Snelheidsregime 60 i.p.v. 80 km/u met plateaus en markering

wegtype	DV-categorie	pakket met maatregelen
<i>bibeko</i>		
WGbi-2b	GOW	Rotondes of plateaus, geen erven, niet oversteken of parkeren, bromfietzers op de rijbaan
WGbi-1b	GOW	Rijrichtingscheiding, rotonde/plateau, geen erf of parkeren, slechts oversteekmogelijkheden in combinatie met snelheidsremmers, bromfietzers op de rijbaan
WAbi-2s	ETW	Snelheidsregime 30 i.p.v. 50 km/u met volledige inrichting
WAbi-1s	ETW	idem
WS	ETW	idem

Het effect op de kencijfers van voor te stellen duurzaam-veilige maatregelen en de introductie van ADA-systemen, kan berekend worden op basis van geschatte reductiepercentages voor de wegvak- en kruispuntongevallen per ongevalgroep. Door de SWOV is een methode ontwikkeld om de effecten van duurzaam-veilige maatregelen te schatten (Janssen & Wesemann 2001). In deze methode wordt geen onderscheid gemaakt tussen snel en langzaam verkeer. Als aanvulling hierop is een methode in ontwikkeling waarin naast onderscheid tussen wegtypen, kruising en wegvak ook een uitsplitsing wordt gemaakt naar 6 ongevalgroepen (Janssen 2002). Een andere benadering is echter ook mogelijk. In plaats van onderscheid tussen langzaam en snel verkeer te maken kunnen de ongevallen uitgesplitst worden naar het type manoeuvre dat geleid heeft tot het ongeval. In hoofdstuk 3 wordt dit verder uitgewerkt.

In de Verkeersveiligheid Verkenner voor de Regio (VVR, ontwikkeld door de SWOV) is voor het jaar 2010 een theoretische schatting gemaakt voor de ongevalrisico's op de 6 nieuwe DV-wegcategorieën na toepassing van eerder genoemde pakketten met DV-maatregelen en groei van het verkeer. Figuur 2.6 toont de verdeling over kruising en wegvak in 2010.



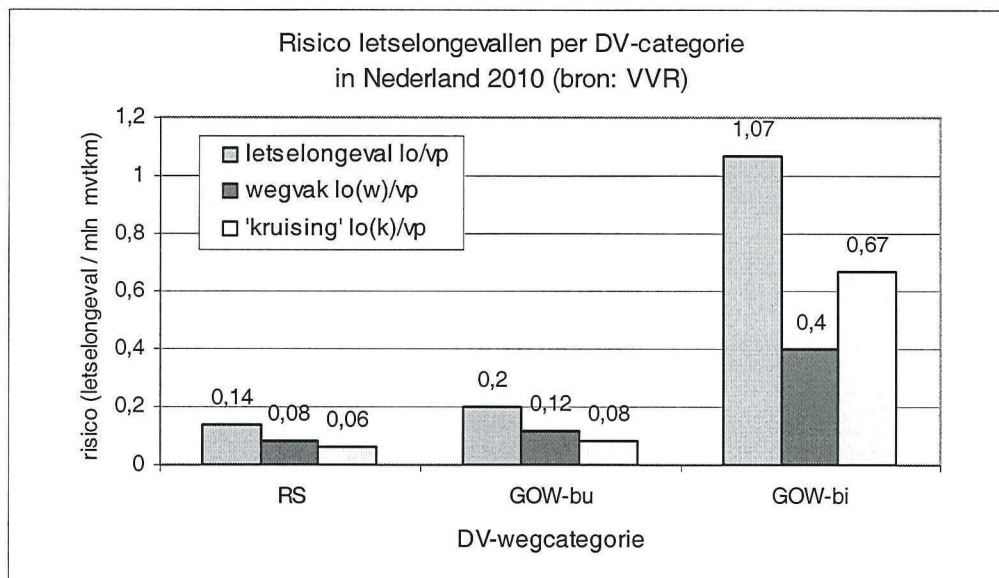
Figuur 2.6: Verdeling letselongevallen op wegvak en kruising per DV-categorie volgens VVR in 2010.

Figuur 2.7 en tabel 2.11 tonen de theoretische risico's per DV-categorie. Deze kencijfers zijn niet te vergelijken met de eerder bepaalde kencijfers voor het jaar 1986 aangezien er een andere berekeningsmethode aan ten grondslag ligt. In hoofdstuk 3 worden de risico's per DV-categorie bepaald met behulp van een meer nauwkeurige (minder theoretische) methode. Hiervoor is het oude wegennet in de provincie Zuid-Holland per wegvak (handmatig) omgezet in DV-wegcategorieën. De bestaande ongevallen op de oude wegtypen zijn overgezet op het nieuwe DV-wegennet. In de daaruit berekende risicocijfers zijn echter geen DV-maatregelen of verkeersgroei verwerkt.

Tabel 2.11: Kencijfers risico volgens VVR (scherm 3) na invoering DV en groei tot 2010.

Risico's 2010	dodelijkongeval	letselongeval	wegvak	kruising
DV-wegcategorie	do/vp	lo/vp	lo(w)/vp	lo(k)/vp
NS	0,003	0,06	0,05	0,01
RS	0,009	0,14	0,08	0,06
GOW-bu	0,010	0,20	0,12	0,08
ETW-bu	0,022	0,42	0,31	0,11
GOW-bi	0,015	1,07	0,40	0,67
ETW-bi	0,010	0,76	0,21	0,55
totaal	0,008	0,29	0,14	0,15

Als het OWN wordt gedefinieerd als RS + GOW-bu + GOW-bi (volgens de definitie van pagina 1) dan kan geconcludeerd worden dat deze drie wegcategorieën de RS veruit het veiligst zal zijn in 2010. In hoofdstuk 3 wordt gebruik gemaakt van een database van ongevallen op DV-wegcategorieën in de provincie Zuid-Holland. In deze database wordt echter geen onderscheid gemaakt tussen nationale en regionale stroomwegen. In de rest van dit rapport wordt daarom het OWN gedefinieerd als GOW-bu + GOW-bi (GOW wordt synoniem met OWN). Op het OWN zal in 2010 naar verwachting het risico van dodelijke ongevallen en het risico van letselongevallen binnen de kom groter zijn dan er buiten. Buiten de kom vinden 40% van de letselongevallen plaats op een kruising en binnen de kom gebeurt 62% op een kruising. Het risico op een wegvak binnen de kom is ca. 3 keer zo groot als buiten de kom. Letselongevallen op een kruising binnen de kom (GOW-bi (k)) hebben het grootste risico van het OWN. Figuur 2.7 toont de risico's van letselongevallen op kruisingen en wegvaken van het OWN in 2010 (volgens VVR, scherm 3 + groei).



Figuur 2.7: Kencijfers risico letselongevallen per DV-categorie volgens VVR in 2010.

2.6 Samenvatting inventarisatie verkeersonveiligheid

2.6.1 Kencijfers van 1986 tot 1998

Ondanks de toename van de weglengte en de verkeersprestatie zijn de jaarlijkse aantallen letselongevallen en doden gedaald in de periode 1986-1998. Als gevolg hiervan daalde tevens het aantal letselongevallen per kilometer weglengte (ongevaldichtheid) en het aantal letselongevallen per miljoen afgelegde motorvoertuigkilometers (letselongevalrisico). Opmerkelijk is dat de mortaliteit (aantal doden per slachtoffer) ook is gedaald, maar dat de slachtofferdichtheid (aantal slachtoffers per letselongeval) bleef stijgen ondanks het veiliger worden van voertuigen en infrastructuur.

2.6.2 Kencijfers per wegtype in 1986

Het absolute aantal ongevallen met letselslachtoffers is buiten de kom met ca. 5.000 veel minder dan de ca. 13.000 binnen de kom van het OVN. Het absolute aantal dodelijke slachtoffers dat valt op het OVN is buiten de kom met 375 groter dan de 275 doden die binnen de kom vallen. Vooral de 279 doden – dat is 18% van alle verkeersdoden – op wegen met geslotenverklaring buiten de kom (WG) verdienen extra aandacht. De dubbelbaansweg met geslotenverklaring buiten de kom (WG-2b) heeft het hoogste fatale risico van het OVN. Gezien de (economische, maatschappelijke en politieke) waarde van dodelijke verkeersslachtoffers spelen die absolute aantallen een belangrijke rol in de verkeersveiligheidsdiscussie. Daarom worden de wegen buiten de kom van het OVN ondanks het lagere letselongevalrisico toch als onveilig bestempeld.

2.6.3 Kencijfers voor wegvakken en kruisingen

Vanwege het verschil in functie is het van belang ongevallen uit te splitsen naar locatietype: wegvak (stromen) en kruising (uitwisselen). Buiten de bebouwde kom gebeuren de meeste letselongevallen op wegvakken en binnen de kom op kruisingen. Op het OVN hebben het wegvak van enkelbaanswegen met gesloten verklaring (WGbi-1b (w)) en de kruising van dubbelbaansautowegen het grootste risico (AW-2b (k), risico per kruising is slechts indicatie).

2.6.4 Kencijfers uitgesplitst naar snel en langzaam verkeer

Met het oog op de toepassingsmogelijkheden van de diverse ADAS is tevens een uitsplitsing gewenst van ongevallen naar verkeerstype: snel en/of langzaam verkeer. Op een wegvak buiten de kom van het OVN is bij meer dan de helft (54%-88%) van de ongevallen uitsluitend snel verkeer betrokken. Binnen de kom spelen ongevallen met louter snel verkeer een minder dominante rol (30-48%). Op kruisingen binnen de kom hebben letselongevallen tussen snel en langzaam verkeer een aandeel van meer dan 50%.

Wanneer het *letselongevalrisico* wordt gehanteerd als maat voor de onveiligheid, dan kan geconcludeerd worden dat de enkelbaansweg binnen de kom (WGbi-1b) de onveiligste situatie van het OWN is en dat met name op de kruising ongevallen tussen *snel en langzaam verkeer* een grote rol spelen. Dit wegvak telt tevens het hoogste absolute aantal letselongevallen. Qua *fataal risico* is echter de dubbelbaansweg met geslotenverklaring *buiten de kom* (WG-2b) het onveiligst. Op dit wegtype spelen ongevallen met uitsluitend *snel verkeer* met een aandeel van ca. 60% de grootste rol op zowel het wegvak als de kruising.

2.6.5 Categorisering volgens Duurzaam Veilig

Voor het jaar 2010 is een theoretische schatting gemaakt voor de ongevalrisico's op de 6 nieuwe DV-wegcategorieën na invoering van DV-maatregelen en groei van het verkeer. In de rest van dit rapport wordt het OWN gedefinieerd als GOW-bu + GOW-bi. Op het OWN zal in 2010 naar verwachting zowel het risico van dodelijke ongevallen als het risico van letselongevallen binnen de kom groter zijn dan er buiten. Buiten de kom vinden 40% van de letselongevallen plaats op een kruising en binnen de kom gebeurt 62% op een kruising. Het risico op een wegvak binnen de kom is ca. 3 keer zo groot als buiten de kom. Geconcludeerd kan worden dat de Gebiedsontsluitingsweg binnen de kom (GOW-bi) in 2010 de onveiligste wegcategorie van het OWN zal zijn, omdat hier zowel het fatale risico als het risico van letselongevallen het hoogst is. De kruising binnen de kom zal de onveiligste locatie op het OWN zijn.

Hoofdstuk 3 Analyse ongevallen in Zuid-Holland

Dit derde hoofdstuk gaat dieper in op verkeersonveiligheid aan de hand van ongevallen in Zuid-Holland gedurende de periode 1995-2000. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in welke specifieke situaties onveilig zijn en welke manoeuvres en toedrachten daar de oorzaak van zijn. De resultaten van dit hoofdstuk zijn de risico's per DV-wegcategorie (uitgesplitst naar wegvak en kruisingstype) en een analyse van de manoeuvres en hoofdtoedrachten die een rol spelen bij letselongevallen.

3.1 Methodiek

3.1.1 Ongevallenbestand

In Nederland worden verkeersongevallen geregistreerd door de politie. Een voorbeeld van een registratieformulier dat hiervoor gebruikt wordt is te zien in bijlage 3. Deze formulieren worden doorgestuurd naar de hoofdafdeling Basisgegevens van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV-BG), voorheen de Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR). Deze afdeling voert de gegevens in een databestand in. Deze gegevensbank 'Ongevallen en Netwerk' van AVV/BG bestaat uit twee delen:

Het ongevallenbestand (VOR) en het Nationaal WegenBestand (NWB)

Het verkeersongevallendeel bevat informatie over de het ongeval: locatie, omstandigheden, manoeuvres, betrokken objecten, bestuurders en eventuele slachtoffers. Het NWB (opvolger van het VOR-Locatie Netwerk, VLN) is een digitaal bestand van het Nederlandse wegennet. Het NWB is nauwkeuriger en gedetailleerder dan het VLN. De ligging van de wegen is conform de TOP10-kaarten van de Topografische Dienst. Bij tweebaanswegen worden rijbanen afzonderlijk weergegeven, ook bij rotondes en kruispunten met gescheiden rijbanen. Het NWB bevat: lijnstukken (wegvakken) en knopen (begin- en eindpunten van de wegvakken). Knopen zijn vaak kruisingen. De ligging en vorm van de knooppunten is geografisch gedefinieerd door de X- en Y-coördinaten. Van de wegvakken zijn straatnaam, wegbeheerdersnummer en gemeente bekend. Er zijn (nog) geen verkeerskundige gegevens gekoppeld aan de wegvakken. Met behulp van het NWB kan AVV/BG vrij nauwkeurig aangeven waar het ongeval heeft plaatsgevonden. Door toepassing van GIS kunnen de ongevallen in kaart gebracht worden. Niet alle ongevallen worden in Ongevallen en Netwerk geregistreerd. De registratiegraad hangt samen met de letselernst: doden: 93%, ziekenhuisgewonden: 65%, lichtgewonden: 18%. De incompleetheid van de registratie komt vooral doordat niet bij alle ongevallen de politie wordt gewaarschuwd en doordat de politie niet alle gemelde ongevallen registreert en doorgeeft. De registratiegraad is ook afhankelijk van de wijze van verkeersdeelname: ongevallen met motorvoertuigen worden beter geregistreerd dan ongevallen met alleen langzaamverkeer. Daardoor is de registratie niet alleen incompleet maar ook vertekend. In de VOR wordt een ongeval getypeerd en geregistreerd aan de hand van een reeks gegevens die door de politie op het VOR-formulier zijn aangegeven (bijlage 3). De belangrijkste gegevens in de VOR zijn weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gegevens per ongeval opgenomen in de VOR

initiële gegevens	algemene gegevens	locatie
VOR-nummer	binnen/buiten kom	wegvak/kruispunt
gemeente(kode)	maximumsnelheid	straatnaam
datum/tijdstip	wegsituatie	manoeuvre (6 aspecten)
objecten	bijzonderheid van plaats	beginsituatie
type (voertuig)/kenteken	tijdelijke omstandigheden	uitgangssituatie op weg
rijbewijs/geslacht/leeftijd	lichtgesteldheid	voorgenomen beweging
slachtoffers	wegverlichting	aangrijppunt
geen (UMS)	wegdek	beïnvloede beweging
letsel/ziekenhuis	wegverharding	toedracht
overleden	aard	

De aard van het ongeval geeft een algemene typering aan de hand van een tiental mogelijkheden. Het begrip manoeuvre is ooit geïntroduceerd door het CBS – daarom ook wel

aangeduid als CBS-manoeuvere – en bestaat uit 89 mogelijke manoeuvres die onderverdeeld zijn in 10 groepen. Elke manoeuvre is omschreven door enkele kernwoorden en voorzien van een schematisch tekeningetje (manoeuvreplaatje). Een manoeuvre(plaatje) wordt opgebouwd voor de (eerste) primaire botser uit een 6 tal aspecten die door de politie zijn geregistreerd. De toedracht is geënt op de causaliteit van een ongeval (de schuldvraag in ruime zin). De 97 mogelijke toedrachten zijn onderverdeeld in 6 hoofdgroepen (A t/m F). Een voorbeeld van de meest voorkomende toedrachten: *nr. 01 'door stopteken/rood verkeerslicht'*, *nr. 11 'niet voldoende afstand bewaren'* en *nr. 30 'geen voorrang verlenen'* (uit groep A). In het geval van meerdere toedrachten wordt de belangrijkste ondergebracht bij hoofdtoedracht. In bijlage 3 is een compleet overzicht van manoeuvres en toedrachten opgenomen.

In verschillend onderzoek naar de effecten van telematica-toepassingen zijn manoeuvres en (hoofd)toedrachten eerder gebruikt. Heijer en Wouters (1996) gebruiken een mix van toedracht en manoeuvre. Japanse onderzoekers kiezen voor een koppeling met toedracht (Hiramutsu 1997) of met manoeuvre (AHSRA 1998). De Visser (1998) baseert zijn effectschatting op een koppeling van telematica-toepassingen (4 stuks) met manoeuvreplaatjes. Dit afstudeeronderzoek maakt gebruik van VOR-ongevalsgegevens van de wegen in Zuid-Holland gekoppeld aan de nieuwe DV-wegcategorieën voor de periode 1995 tot 2000. In dit databestand zijn naast de gebruikelijke manoeuvres en toedrachten ook de conflictgroepen opgenomen.

Toch blijkt het moeilijk, hoe gedetailleerd de ongevallenregistratie ook is, om de cruciale ongevalfactor te bepalen. Als die al bestaat, aangezien ongevallen zelden een enkele oorzaak hebben. De Visser (1998) stelt dat daarom het gebruik van louter toedracht niet verdedigbaar is. Dit onderzoek is gebaseerd op een koppeling met manoeuvres. Als aanvulling hierop is de koppeling met hoofdtoedracht geanalyseerd. Alvorens er een koppeling gemaakt kan worden tussen een ADAS-toepassing en manoeuvres dient de werking van de betreffende toepassing geanalyseerd te worden. Naar aanleiding daarvan kan de werking vertaald worden naar de manoeuvres die de toepassing zou kunnen voorkomen. Hetzelfde geldt voor de toedrachten. In hoofdstuk 4 wordt dit verder uitgewerkt.

Ook voor het schatten van de effecten van infrastructurele maatregelen leent het gebruik van manoeuvres zich. Door een infrastructurele verandering worden in het vervolg een of meerdere manoeuvres uitgesloten. Zo maakt een fysieke rijbaanscheiding frontale botsingen onmogelijk (manoeuvre: *nr. 212 'frontaal met rijstrook verandering 1 voertuig'*). Voor maatregelen of toepassingen die de snelheid (moeten) verlagen lenen manoeuvres zich echter minder goed. Onder toedracht wordt snelheid wel expliciet vermeld (*nr. 35: 'te snel rijden'*), maar geeft als gevolg van de hiërarchische toedeling slechts een deel van de ongevallen waarbij snelheid een rol speelde (als geen van de voorgaande 34 items van toepassing was). Een alternatief om het effect van snelheid te schatten kan gevonden worden in een algemene relatie tussen gemiddelde snelheid en ongevallen zoals gevonden door Nilsson (1981) of Finch et al. (1994).

3.1.2 Conflictgroepen

Een verkeers- en vervoerssysteem is volgens de DV-filosofie gebaseerd op het beperken van het aantal conflictsituaties. Van de conflicten die toch optreden dienen de gevolgen minder ernstig te zijn. Conflicten tussen weggebruikers met verschillende snelheid, massa of richting moeten voorkomen worden (homogeen gebruik). De mogelijke conflicten zijn ondergebracht in 4 groepen: langsconflicten, conflicten bij con- en divergeren, dwarsconflicten en frontale conflicten (CROW 1997). Van Harten en Jagtman (2002) hebben dit aangevuld met 2 extra groepen: conflicten met obstakels en eenzijdige conflicten. Tevens hebben zij de eerder besproken manoeuvreplaatjes verdeeld over de 6 conflictgroepen (zie bijlage 3). Hieronder wordt een omschrijving gegeven van de conflictgroepen en tabel 3.2 toont per groep een schematisch tekeningetje.

1. Langsconflicten: Conflicten waarbij de partijen in dezelfde richting (proberen te) rijden. (bijvoorbeeld: inhalen op (snel)wegen)
2. Convergeren en divergeren: Conflicten waarbij de partijen in dezelfde richting beginnen of eindigen. (bijvoorbeeld: in- en uitvoegen op (snel)wegen)
3. Dwarsconflicten: Conflicten waarbij de uitgangsposities van de partijen (min of meer) haaks op elkaar staan. (bijvoorbeeld: kruisend verkeer op kruispunten)
4. Frontale conflicten: Conflicten waarbij de partijen uit tegenovergestelde richting komen. (bijvoorbeeld: botsing met tegenligger bij inhalen op een weg zonder gescheiden rijbanen)
5. Conflicten met obstakels: Conflicten waarbij een partij met obstakels op of naast de weg in aanraking komt. (bijvoorbeeld: geparkeerde voertuigen, lichtmasten of verloren lading)
6. Eenzijdige conflicten: Conflicten waarbij maar één partij betrokken is. (bijvoorbeeld een voertuig dat slipt als gevolg van een lekke band).

Tabel 3.2. Conflictgroepen

conflictgroep	voorbeeld
1. langs	
2. convergeren en divergeren	
3. dwars	
4. frontaal	
5. obstakel	
6. eenzijdig	

Door de invoering van Duurzaam Veilig worden per wegcategorie een aantal conflictgroepen *uitgesloten*. Daarnaast blijft een beperkt aantal conflict(groep)en bestaan. Deze conflicten dienen *beheerst* te worden. Hier kan ADAS eventueel ondersteuning bieden. *Uitsluiten* betekent scheiden in ruimte of tijd (barriere 1). *Beheersen* betekent voorkomen van een ongeval in dezelfde ruimte (barriere 2). Onderstaande tabel (3.3) geeft een overzicht van de te beheersen conflicten.

Tabel 3.3. Matrix met conflicten die door DV niet uitgesloten worden (conflictgroepen 1 t/m 4 uit CROW 1997, aangevuld met conflictgroep 5 en 6 uit Van Harten 2002)

Wegcategorie		Wegvak	Kruispunt
		<i>buiten de bebouwde kom</i>	
Stroomweg	NS, RS	langs (1) + eenzijdig (6)	+ con/divergeren (2)
Gebieds-ontsluitingsweg	GOW-bu	langs (1) + obstakel (5) + eenzijdig (6)	+ con/divergeren (2) + dwars (3, bij lage snelheid)
Erftoegangsweg	ETW-bu	alle	alle
<i>binnen de bebouwde kom</i>			
Gebieds-ontsluitingsweg	GOW-bi	langs (1) + obstakel (5) + eenzijdig (6) + con/diverg. (2, bij ≤ 50km/h)	+ con/divergeren (2) + dwars (3, bij lage snelheid)
Erftoegangsweg	ETW-bi	alle	alle

Het effect van DV kan geschat worden door de manoeuvres behorende bij een bepaalde conflictgroep te elimineren uit de ongevaldata. Dit dient te gebeuren per wegcategorie en per wegvak of kruispunttype. Een complicerende factor hierbij is dat de invloed van DV waarschijnlijk gedeeltelijk al tot uiting komt in de gebruikte ongevaldata van sommige wegcategorieën. Zo voldoet wegcategorie NS van oorsprong al aan de DV-eisen en was een deel van de wegcategorie ETW-bi in de periode 1995-2000 reeds uitgevoerd volgens DV. In deze studie wordt het effect van DV niet in rekening gebracht op de ongevaldata. Het verdient echter aanbeveling dit in een eventuele vervolgstudie wel mee te nemen. De effecten van ADAS kunnen dan vergeleken worden met de effecten van DV. Tevens kan bepaald worden wat de extra veiligheidswinst is van ADAS indien DV volledig is ingevoerd. Ook kunnen de verschillen tussen een sobere of volledige duurzaam-veilige vormgeving in kaart gebracht worden.

3.1.2 Categoriësering wegvakken en kruisingen volgens Duurzaam Veilig

Hiervoor is besproken dat het duurzaam veilige wegennet opgebouwd is uit 3 basis wegcategorieën: de stroomweg (SW), de gebiedsontsluitingsweg (GOW) en de erftoegangsweg (ETW). Stroomwegen kunnen opgesplitst worden naar nationale (NS) en regionale stroomwegen (RS), maar in het hier gebruikte bestand wordt dit onderscheid niet gemaakt. Daarnaast zijn de wegcategorieën opgebouwd uit wegvakken en kruisingen. Wegvakken en kruisingen tussen weg(vak)ken van dezelfde categorie zijn eenduidig toe te wijzen aan de bijbehorende categorie. Voor kruisingen tussen wegen behorende bij verschillende categorieën ligt dat gecompliceerder. Vaak wordt er voor gekozen om de kruising toe te wijzen aan de hoogste orde (VVR). De volgorde die hierbij wordt aangehouden is als volgt:

1. stroomweg (SW);
2. gebiedsontsluitingsweg buiten de bebouwde kom (GOW-bu);
3. gebiedsontsluitingsweg binnen de bebouwde kom (GOW-bi);
4. erftoegangsweg buiten de bebouwde kom (ETW-bu);
5. erftoegangsweg binnen de bebouwde kom (ETW-bi).

Deze manier van toewijzen geeft wellicht een vertekend beeld en doet geen recht aan de verkeersfunctie van de DV-wegcategorie. De functie van een stroomweg, zowel wegvak als kruising, is – zoals de naam al aangeeft – stromen (zie tabel 3.4). De conflicten die hier optreden zijn hoofdzakelijk langsconflicten. Kruisingen tussen SW en GOW kennen naast de typische langsconflicten ('kop-staart': 40%) ook een belangrijk aandeel dwarsconflicten ('op kruising rechtdoor': 30%). Deze conflicten horen bij de uitwisselfunctie van de GOW-kruising en passen niet bij de stroomfunctie van de SW. De herziening van de Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen (RONA), vastgelegd in het Handboek Wegontwerp (CROW 2002), typeert deze kruising dan ook als GOW. Zelfs de toe- en afritten (naar en van de in- en uitvoegstroken van de SW) ziet het Handboek Wegontwerp als GOW.

Tabel 3.4: Verkeersfuncties per DV-categorie (bron: CROW 1997).

DV-categorie	verkeersfunctie		typering
	wegvak	kruising	
Stroomweg	stromen		verkeersaders
Gebiedsontsluitingsweg	stromen (ontsluiten)	uitwisselen	
Erftoegangsweg	uitwisselen		wegen in verblijfsgebieden

Een soortgelijk probleem doet zich voor bij het toewijzen van kruisingen tussen GOW en ETW. Ervan uitgaande dat deze kruisingen buiten het verblijfsgebied liggen worden ze toegewezen aan de GOW. Rest nog het verschil in ligging buiten en binnen de kom. Hier wordt aangenomen dat de ligging van de categorie met de hogere orde bepalend is. Kruisingen tussen meer dan twee verschillende categorieën (1%) worden in deze beschouwing niet meegenomen. Het resultaat van deze methode van toewijzen is weergegeven in tabel 3.5. Hierin betekent '3x4' een kruising tussen DV-wegcategorie 3

(GOW-bi) met DV-wegcategorie 4 (GOW-bi). Tabel 3.11 toont het (berekende) aantal kruisingen per type dat voorkomt in het GIS-bestand van Zuid-Holland.

Tabel 3.5: Toedeling kruisingen aan DV-categorie

DV-wegcategorie	wegvaktype	kruisingstype					
SW	1	1x1					OWN
GOW-bu	2	2x2	1x2	2x3	2x4	2x5	
GOW-bi	3	3x3	1x3	3x4	3x5		
ETW-bu	4	4x4	4x5				
ETW-bi	5	5x5					

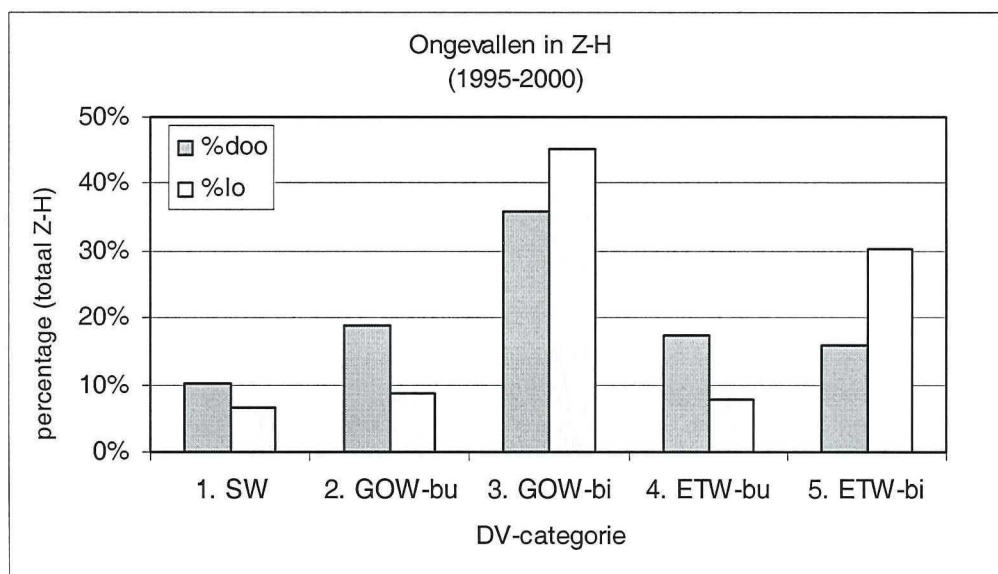
Om het beeld van de ongevallen per kruisingstype zo gedetailleerd mogelijk te houden worden de kruisingen eerst per type geanalyseerd en op het laatst pas toegedeeld aan een DV-categorie. Eventueel kan bij type 1x2 en 1x3 een bepaald deel van de ongevallen (mbt. de stroomfunctie: langsconflicten en con- en divergeren) toegewezen worden aan de SW en de rest aan de GOW (mbt. de uitwisselfunctie). In deze studie is hier niet voor gekozen.

3.2 Analyse ongevallen in Zuid-Holland

In hoofdstuk 2 is de verkeersonveiligheid op de oude wegtypen geïventariseerd. Ook voor de nieuwe DV-categorieën is een theoretische schatting gemaakt van de risico's in 2010. In dit hoofdstuk worden de risico's per DV-categorie bepaald via een andere methode. Het databestand dat hiervoor gebruikt wordt bevat bestaande ongevalgegevens gekoppeld aan een nieuwe indeling van het wegennet volgens DV-categorieën. Hiertoe is door een extern adviesbureau een inventarisatie gemaakt van het oude wegennet in de provincie Zuid-Holland. Per wegvak is het oude wegtype (handmatig) omgezet in een nieuwe DV-wegcategorie. De bestaande ongevallen op de oude wegtypen zijn overgezet op het nieuwe DV-wegennet. Inmiddels zijn in het kader van de ICES-claim op het Fonds Economische Structuurversterking voor de meeste provincies en vervoerregio's dergelijke nieuwe indelingen gemaakt door verschillende adviesbureaus. Een vergelijking tussen de DV-indeling voor de Vervoersregio Haaglanden en de in dit rapport gebruikte indeling voor de provincie Zuid-Holland, leert dat er meerdere interpretaties mogelijk zijn. Zo is de Kruithuisweg te Delft in de indeling volgens Haaglanden een gebiedsontsluitingsweg binnen de kom terwijl de Provincie deze weg buiten de kom situeert. Bij de interpretatie van de in dit hoofdstuk gepresenteerde kencijfers dient rekening gehouden te worden met het feit dat de ongevallen betrekking hebben op de oude situatie in Zuid-Holland. In de hieruit berekende risicocijfers zijn geen nieuwe DV-maatregelen of verkeersgroei verwerkt.

3.2.1 Analyse ongevallen per DV-categorie

In de periode 1995-2000 vielen er in de provincie Zuid-Holland gemiddeld 113 dodelijke ongevallen te betreuren. Daarvan vond 60% op een wegvak plaats en 40% op een kruising. Van de letselongevallen in Zuid-Holland vonden er 20931 plaats op wegvakken en 20347 op kruisingen (totaal 41278). Dat komt neer op gemiddeld 3489 resp. 3391 ongevallen per jaar (totaal 6880 per jaar). De verhouding wegvak-kruising is in Zuid-Holland 51/49. Landelijk is de verdeling ook fiftyfifty en ligt dit totale aantal op ongeveer 41.000 in 1998. In Zuid-Holland vindt dus 17% van de letselongevallen plaats. Delen we de verschillende typen kruisingen toe zoals eerder beschreven dan ontstaat het beeld van figuur 3.1 en tabel 3.6. Hierin staat 'doo' voor het aantal dodelijke ongevallen, 'lo' voor het aantal ongevallen waar slachtoffers (doden, ziekenhuisgewonden of lichtgewonden) bij gevallen zijn en '%' voor het percentage t.o.v. het totale aantal in Zuid-Holland.



Figuur 3.1: Verdeling ongevallen in ZUID-HOLLAND (1995-2000).

Op de SW gebeuren de minste ongevallen. Wegen binnen de kom tellen samen zowel de meeste dodelijke als letselongevallen (52% resp. 75%). De GOW-bi neemt meer dan een derde van de dodelijke ongevallen (36%) voor rekening en iets minder dan de helft van het aantal letselongevallen (45%). Het OWN (=GOW-bu + GOW-bi) blijkt meer dan de helft van zowel het totale aantal dodelijke (55%) als het aantal letselongevallen (54%) voor rekening te nemen.

De mate van (on)veiligheid van een DV-wegcategorie wordt – zoals bestoken in hoofdstuk 1 en 2 – uitgedrukt in het aantal ongevallen per km-weglengte of – nog beter – per verkeersprestatie. In tabel 3.6 staat 'km' voor het aantal kilometers wegvak, 'doo' voor het aantal dodelijke (fatale) ongevallen, 'lo' voor het aantal ongevallen waar slachtoffers (doden, ziekenhuisgewonden of lichtgewonden) bij gevallen zijn. 'do/lo' geeft het aantal dodelijke ongevallen per letselongeval en 'lo/km' de letselongevalendichtheid. 'in' staat voor intensiteit per etmaal (mvt/24h) waarvoor waarden zijn geschat zijn aan de hand van de intensiteiten op de oude wegtypen in 1998 en de voor de DV-categorieën berekende intensiteiten in 2010 (VVR). Deze waarden zijn specifiek voor Zuid-Holland, met name op wegen binnen de kom ligt het landelijk gemiddelde lager. De verkeersprestatie is het product van de weglengte (km) en intensiteit per jaar uitgedrukt in miljoen voertuigkilometers per jaar. 'doo/vp' resp. 'lo/vp' geven het fataal- resp. letselongevalrisico.

Tabel 3.6: Kencijfers ongevallen in Zuid-Holland (1995-2000).

Kencijfers Z-H (1995-2000)	weg lengte	fataal	letsel	mortaliteit	ongeval dichtheid	fataal ongeval risico	letsel ongeval risico
DV-categorie	km	doo	lo	doo/lo	lo/km	doo/vp *100	lo/vp
1. SW	397	12	449	2,6%	1,13	0,12	0,04
2. GOW-bu	822	21	594	3,6%	0,72	0,79	0,22
3. GOW-bi	1356	41	3110	1,3%	2,29	0,68	0,52
totaal Z-H (/jaar)	14430	113	6880	1,6%	0,47	0,47	0,29

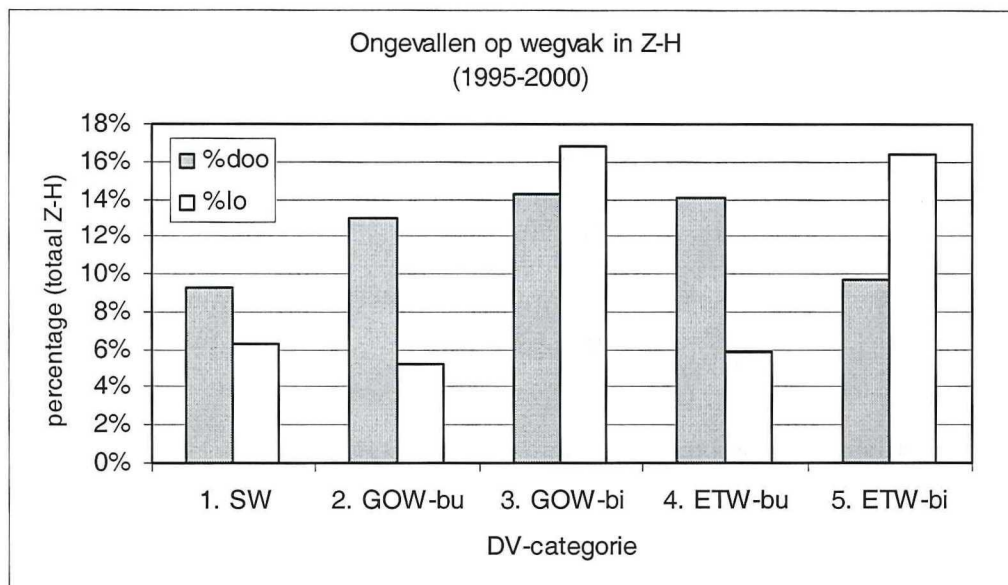
OWN

Uit tabel 3.6 blijkt dat de mortaliteit het hoogst is op wegen buiten de kom (de GOW-bu). De ongevaldichtheid ligt het hoogst op de GOW-bi. Het fatale risico is buiten de kom van het OWN het hoogst. Het letselongevalrisico is echter binnen de kom het hoogst. Op grond hiervan is niet te zeggen welke categorie van het OWN het onveiligst is. Dit komt overeen

met de bevindingen voor de oude wegtypen in hoofdstuk 2, maar niet met de schatting voor 2010 waarin beide risico's het hoogst zijn binnen de kom van het OWN.

3.2.2 Analyse ongevallen op wegvakken

In de periode 1995-2000 vonden in Zuid-Holland 20931 van de 41278 ongevallen plaats op wegvakken. Per wegvakcategorie is de verdeling als getoond in figuur 3.2.



Figuur 3.2: Verdeling ongevallen op wegvakken in Zuid-Holland (1995-2000).

De wegvakken binnen de kom tellen de meeste letselongevallen. Op de SW gebeuren de minste dodelijke ongevallen, maar de percentages liggen dichtbij elkaar. De wegvakken van de gebiedsontsluitingswegen binnen de kom (GOW-bi (w)) tellen zowel de meeste fatale ongevallen (14%) als de meeste letselongevallen (17%). Deze wegcategory is qua absolute aantallen het onveiligste wegvak in Zuid-Holland.

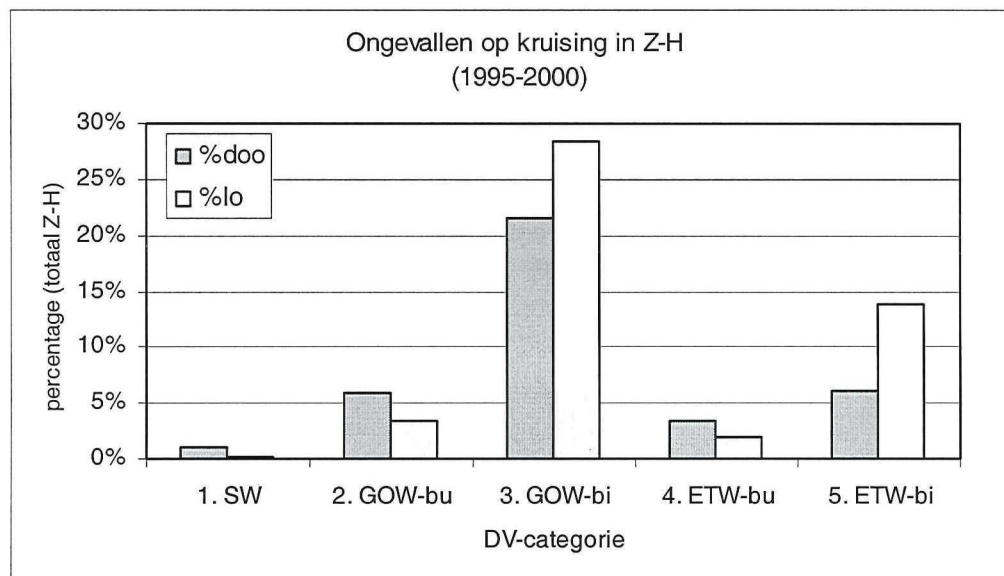
Tabel 3.7: Kencijfers ongevallen op wegvakken in Zuid-Holland (1995-2000).

Kencijfers wegvak Z-H (1995-2000)	weg lengte	fataal ongeval	letsel ongeval	mortaliteit	ongeval dichtheid	fataal ongeval risico	letsel ongeval risico
DV-categorie	km	doo	lo	doo/lo	lo/km	doo/vp *100	lo/vp
1. SW	397	11	435	2,4%	1,10	0,10	0,04
2. GOW-bu	822	15	360	4,1%	0,44	0,54	0,13
3. GOW-bi	1356	16	1160	1,4%	0,85	0,27	0,20
totaal wegvak (/j)	14430	68	3489	2,0%	0,24	0,29	0,15

Uit tabel 3.7 blijkt dat de mortaliteit het hoogst is op wegvakken buiten de kom (GOW-bu (w)). In paragraaf 2.4 bleek dat op wegvakken buiten de kom van het OWN ongevallen met uitsluitend snel verkeer (s*s en s) de grootste rol spelen. De hoge verhouding dodelijk/letselongeval wordt hier waarschijnlijk veroorzaakt door grote verschillen in snelheid. Het aantal dodelijke en letselongevallen per km ligt het hoogst op de SW. Tabel 3.7 toont dat het fatale risico buiten de kom (GOW-bu (w)) het hoogst is. Het letselongevalrisico is echter binnen de kom (GOW-bi (w)) het hoogst.

3.2.3 Analyse ongevallen op kruisingen

Van de 41278 ongevallen in Zuid-Holland in de periode 1995-2000 vonden 20347 plaats op een kruising (49%). Per kruisingscategory is de verdeling als getoond in figuur 3.3.



Figuur 3.3: Verdeling ongevallen op kruisingen na toedeling volgens tabel 3.5 (Zuid-Holland 1995-2000).

De kruisingen die volgens tabel 3.5 zijn toegedeeld aan de gebiedsontsluitingsweg binnen de kom (GOW-bi (k)) tellen zowel de meeste fatale ongevallen (22%) als de meeste letselongevallen (28%). Deze categorie is qua absolute aantallen de onveiligste kruising in Zuid-Holland en overtreft het aantal fatale en letselongevallen op het wegvak.

Bekijkt men de kruisingen in detail (niet in figuur 3.3) dan blijkt type 3x5 (kruising van GOW met ETW binnen de kom) met 21% veruit de meeste ongevallen te tellen (zelfs meer dan op elk wegvak). Relateren we de ongevallen aan het aantal kruisingen en de 'prestatie' per type dan ontstaat het beeld van tabel 3.8. De 'prestatie' (vp) is het totale aantal voertuigen dat de kruising per jaar op de hoofdrichting passeert (miljoen motorvoertuigen per kruising per jaar) en is bepaald aan de hand van de intensiteiten op de wegvakken.

Tabel 3.8. Kencijfers ongevallen op kruisingen in Zuid-Holland 1995-2000 (incl. totalen na toedeling volgens tabel 3.5).

Kencijfers kruising (1995-2000)	aantal	fataal ongeval	letsel ongeval	mortaliteit	ongeval dichtheid	fataal ongeval risico	letsel ongeval risico
type	kr.	doo	lo	doo/lo	lo/kr.	(doo/vp') *100	lo/vp'
1. SW 1x1	12	1,2	14	8,3%	1,17	0,38	0,05
2. GOW-bu	1750	6,7	234	2,9%	0,13	0,12	0,04
2x2	617	0,8	40	2,1%	0,07	0,04	0,02
1x2	66	0,8	29	2,8%	0,44	0,38	0,14
2x3	97	(0,3)	26	(1,3%)	0,26	(0,10)	0,08
2x4	848	3,8	127	3,0%	0,15	0,14	0,05
2x5	122	0,8	12	6,9%	0,10	0,21	0,03
3. GOW-bi	10520	24,3	1950	1,2%	0,19	0,05	0,04
3x3	1818	7,7	474	1,6%	0,26	0,10	0,06
1x3	20	(0,2)	27	(0,6%)	1,34	(0,19)	0,31
3x4	205	(0,2)	32	(0,5%)	0,16	(0,02)	0,04
3x5	8477	16,3	1418	1,2%	0,17	0,04	0,04
totaal kruising Z-H per jaar	68659	45	3391	1,3%	0,05	0,06	0,04

(ongevallen gemiddeld per jaar; waarden tussen haakjes zijn statistisch onbetrouwbaar)

Op kruisingen van stroomwegen (type 1x1: klaverblad, turbine, ster, breiwerk) is de mortaliteit (verhouding dodelijk/letselondeval: 8,3%) en ongevaldichtheid (aantal letselondevallen per kruising: 1.17) het hoogst. Opmerkelijk is dat de mortaliteit ook relatief hoog is op kruisingstype 2X5 (6,9%). Grote verschillen in snelheid (en massa) zijn hier waarschijnlijk de oorzaak van. Op dit type kruising komen de GOW-bu met een snelheidslimiet van 80 km/h en de ETW-bi met een limiet van 30 km/h samen. In Duurzaam Veilig krijgt een dergelijke situatie extra aandacht. Het aantal letselondevallen per kruising ligt het hoogst op type 1x3 (1,34; toeritten haarlemmermeer of halfklaverblad). Het dodelijk risico blijkt bij deze aanname het hoogst op kruisingen van het type 1x1 en 1x2 (0.0038 x miljoen motorvoertuigen per kruising per jaar). Het letselondevalrisico is het hoogst op type 1x3 (0,31). Kruisingen met SW (type 1x1, 1x2, 1x3) en type 2x5 en 3x4 spelen in absolute aantallen ongevallen echter een ondergeschikte rol. Buiten de kom gebeuren de meeste ongevallen op kruisingen van het type 2x4 (4% van het totaal aantal letselondevallen in Zuid-Holland). Dit type kruising heeft een hoog fataal risico (als gevolg van de hoge mortaliteit), minstens 2 keer zo groot als binnen de kom. Binnen de kom gebeuren de meeste ongevallen op kruisingen van het type 3x5 (21%), gevolgd door type 3x3 (7%). Van deze twee heeft type 3x3 de hoogste risico's.

Delen we de verschillende typen kruisingen toe aan DV-categorieën volgens tabel 3.5 dan ontstaat op het OWN het volgende beeld: Kruisingen binnen de kom nemen 22% van de dodelijke en 28% van de letselondevallen voor rekening. Buiten de kom is dat veel lager met 6% resp. 3%. De mortaliteit is na de SW (k) het grootst op de GOW-bu (k). De ongevaldichtheid is het grootst op de GOW-bi (k). Hoewel kruisingen in het OWN (type 2 en 3) hetzelfde letsel ongevalrisico hebben is het fatale risico buiten de kom ruim twee keer zo hoog als er binnen. Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat de kruising van de Gebiedsontsluitingsweg buiten de kom (GOW-bu (k)) vanwege het hoge fatale risico de onveiligste categorie van het OWN is. In paragraaf 2.4 (figuur 2.5) bleek dat hierbij ongevallen tussen snel verkeer (s*s) een grote rol spelen.

3.3 Analyse aan de hand van conflictgroepen, manoeuvres en toedrachten

In deze paragraaf worden de manoeuvres en hoofdtoedrachten die tot een ongeval geleid hebben in kaart gebracht. De manoeuvres zijn onderverdeeld in conflictgroepen zoals besproken in paragraaf 3.1.2.

3.3.1 Analyse wegvakongevallen aan de hand van conflictgroepen en manoeuvres

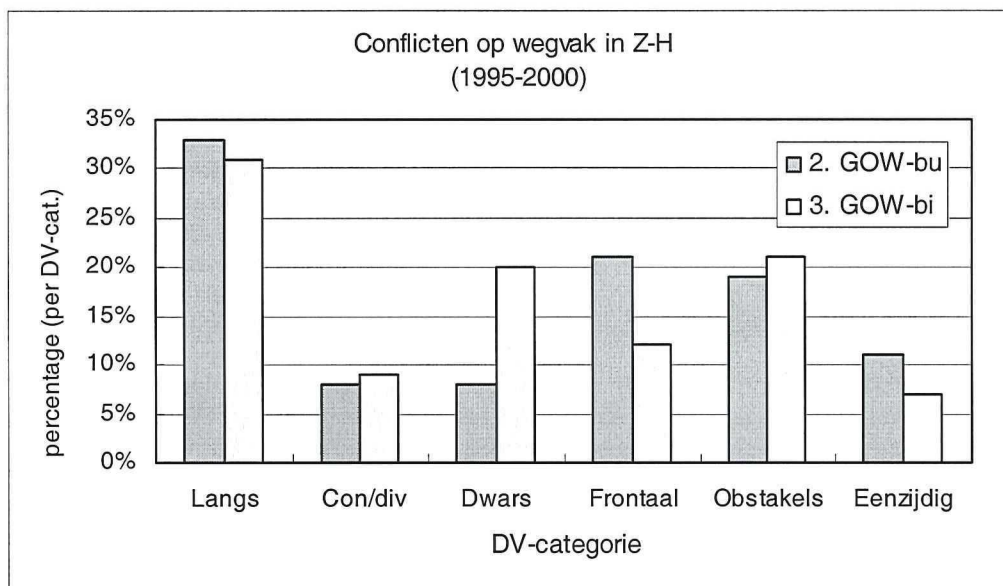
Op de SW is een grote meerderheid van de ongevallen het gevolg van langskonflikten (62% van het totaal aantal ongevallen op deze weg categorie). Dit komt vooral voor rekening van de kop-staartmanoeuvres (nr. 111, 121 en 122) met 50% van totaal SW-wegvak. Op de tweede plaats komen de ongevallen als gevolg van conflicten met obstakels (27%) waarvan de manoeuvres eindigend tegen een vangrail (nr. 931) met 19% het belangrijkste zijn (tabel 3.9 en bijlage 3).

Tabel 3.9 Analyse wegvak-conflictgroep (Zuid-Holland 1995-2000, complete tabel in bijlage 3)

Ongevallen op wegvak in Z-H	DV-weg categorie			
	1. SW	2. GOW-bu	3. GOW-bi	Totaal wegvak
1. langskonflikten	62%	33%	31%	29%
2. convergeren en divergeren	3%	8%	9%	7%
3. dwarsconflicten	1%	8%	20%	18%
4. frontale conflicten	1%	21%	12%	14%
5. conflicten met obstakels	27%	19%	21%	23%
6. eenzijdige conflicten	6%	11%	7%	9%
		OWN		
(percentages geven aandeel van totaal aantal letselondevallen per DV-categorie.)				

Op de GOW-bu zijn de meeste ongevallen het gevolg van langskonflikten (33% van totaal wegvak-categorie). Dit komt vooral voor rekening van de kop-staartmanoeuvres met 28%. Op de tweede plaats komen de ongevallen als gevolg van frontale conflicten (21%) en van

conflicten met obstakels (19%) waarvan de frontale manoeuvres zonder rijstrookverandering (nr. 711, met 12%) respectievelijk de manoeuvres eindigend tegen een boom, hek, huis of lantarenpaal (nr. 911 en 912, samen 11%) het belangrijkste zijn. Figuur 3.4 en tabel 3.9 geven een overzicht van de conflicten op het OWN.



Figuur 3.4: Conflicten op wegvakken van het OWN

Op de GOW-bi zijn wederom de meeste ongevallen het gevolg van langskonflikten (31% van totaal wegvak-categorie). Dit komt vooral voor rekening van de kop-staartmanoeuvres met 22% en schampen (nr.134) met 5%. Op de tweede plaats komen de ongevallen die het gevolg zijn van dwarsconflicten (20%) en van conflicten met obstakels (21%). De dwarsconflicten worden in belangrijke mate vertegenwoordigd door de manoeuvres van dwars overstekende voertuigen (nr. 451, met 4%) en overstekende voetgangers (nr. 811 en 822 samen 8%). Bij de conflicten met obstakels zijn de manoeuvres eindigend tegen een boom, hek, huis of lantarenpaal (8%) het belangrijkste zijn. De frontale manoeuvre zonder rijstrookverandering blijft met 7% een rol spelen.

3.4.2 Analyse kruisingongevallen aan de hand van conflictgroepen en manoeuvres

Op kruisingen van stroomwegen onderling is bijna de helft van de ongevallen het gevolg van conflicten met obstakels (46% van totaal kruising type 1x1). Dit komt vooral voor rekening van de manoeuvres tegen een vangrail of bermbeveiliging (nr. 931 met 33%). Op de tweede plaats komen met 35% de ongevallen als gevolg van langskonflikten, waarin de kop-staartmanoeuvres met 25% een belangrijke rol spelen (tabel 3.10 en bijlage 3).

Tabel 3.10: Analyse kruising-conflictgroep (Zuid-Holland 1995-2000, complete tabel in bijlage 3)

Ongevallen op kruising in Z-H <i>conflictgroep</i>	1. SW	2. GOW-bu					3. GOW-bi				totaal alle
	1x1	2x2	1x2	2x3	2x4	2x5	3x3	1x3	3x4	3x5	kruis.
1. langskonflikten	35%	29%	42%	25%	16%	14%	17%	42%	15%	12%	12%
2. con- en divergeren	5%	6%	6%	10%	9%	14%	12%	4%	14%	15%	12%
3. dwarsconflicten	7%	42%	36%	52%	55%	50%	53%	39%	51%	54%	55%
4. frontale conflicten	2%	10%	5%	8%	12%	11%	9%	4%	13%	12%	11%
5. confl. met obstakels	46%	9%	8%	4%	5%	10%	5%	9%	4%	4%	6%
6. eenzijdige conflicten	5%	5%	3%	1%	3%	1%	4%	1%	5%	3%	3%
aantal letselongevallen per jaar	14	40	29	26	127	12	474	27	32	1418	3391
OWN											
(percentages geven aandeel van totaal aantal letselongevallen per kruisingstype.)											

Op kruisingen tussen SW en GOW (type 1x2 en 1x3) zijn de meeste ongevallen het gevolg van langsconflicten (42% van totaal kruising). Dit komt vooral voor rekening van de kop-staartmanoeuvres met 25% bij 1x2 en 39% bij 1x3. Op de tweede plaats komen de ongevallen die het gevolg zijn van dwarsconflicten (36% resp. 39%), die in belangrijke mate worden vertegenwoordigd door de manoeuvres van rechtdoorgaande voertuigen (nr. 511, met 26% resp. 32%).

Op de kruisingen van GOW-bu (type 2x2) zijn de meeste ongevallen het gevolg van dwarsconflicten (42%), die in belangrijke mate worden vertegenwoordigd door de manoeuvres van rechtdoorgaande voertuigen (24%). Op de tweede plaats komen de ongevallen die het gevolg zijn van langsconflicten (29%), waarvan de kop-staartmanoeuvres 26% voor rekening nemen.

Op de kruisingen van GOW-bi (type 3x3) zijn meer dan de helft van de ongevallen het gevolg van dwarsconflicten (53%), die in belangrijke mate worden vertegenwoordigd door de manoeuvres van rechtdoorgaande voertuigen (nr. 511, met 33%). Op de tweede plaats komen de ongevallen die het gevolg zijn van langsconflicten (17%), waarvan de kop-staartmanoeuvres 15% voor rekening nemen.

Op alle overige kruisingen is het ongevallenbeeld wat betreft de belangrijkste conflictgroep overeenkomend. Qua absolute aantallen letselongevallen spelen kruisingen van het type 2x4, 3x3 en 3x5 de belangrijkste rol. De helft of meer van de ongevallen is het gevolg van dwarsconflicten (50-60%), die in belangrijke mate worden vertegenwoordigd door rechtdoorgaande voertuigen (nr. 511, met 24-36%). De bijdrage van de andere conflicten varieert tussen de 1% en 25% en verschilt per kruisingstype. Opmerkelijk is dat ten opzichte van het wegvak conflicten met obstakels en eenzijdige conflicten op een kruising een ondergeschikte rol spelen.

3.3.3 Analyse wegvakongevallen aan de hand van hoofdtoedrachten

De 97 mogelijke toedrachten zijn verdeeld over 6 groepen (A-F). Groep A is opgesplitst in 11 subgroepen. Op de SW is toedracht nr. 11 *'niet voldoende afstand bewaren'* uit groep A (47% van het totaal aantal ongevallen op deze wegvakcategorie) veruit het belangrijkste. Op de tweede plaats komen met 12% de ongevallen met toedracht *'de macht over het stuur verliezen'* (nr. 77 groep F). Belangrijke andere toedrachten zijn nr. 19 *'snijden'* uit groep A (8%) en nr. 66 *'slippen'* (6%) uit groep D (tabel 3.11 en bijlage 3).

Tabel 3.11 Analyse wegvak–hoofdtoedracht (Zuid-Holland 1995-2000, complete tabel in bijlage 3)

Ongevallen op wegvak in Z-H	DV-wegcategorie			
	1. SW	2. GOW-bu	3. GOW-bi	totaal wegvak
hoofdtoedrachten				
A. Toedr. van bestuurders van vrtg. afstand bewaren				
11 niet voldoende afstand bewaren	47%	24%	18%	17%
<i>inhalen</i>				
18 inhalen links	1%	6%	5%	4%
19 snijden	8%	1%	1%	2%
<i>plaats op de weg</i>				
25 onvoldoende rechts rijden	2%	7%	5%	6%
26 teveel rechts rijden	2%	6%	5%	6%
<i>voorrang/doorgang verlenen</i>				
30 geen voorrang gegeven	0%	6%	5%	7%
31 geen doorgang geven	0%	9%	10%	7%
<i>diversen</i>				
39 bocht fout nemen	2%	5%	3%	5%
B. Toedrachten van voetgangers				
50 onvoorz. oversteken vanachter object		0%	2%	3%
51 onvoorz. oversteken (niet kode 50)	0%	1%	6%	4%

D. Toestand op de weg				
65 slippen ivm sneeuw/ijsel/opvriezen	1%	1%	1%	1%
66 slippen door olie, bladeren e.d.	6%	2%	2%	3%
F. Overige omstandigheden				
77 macht over het stuur verliezen	12%	11%	8%	9%
OWN				
(percentages geven aandeel van totaal aantal letselongevallen per kruisingstype.)				

3.3.4 Analyse kruisingsongevallen aan de hand van hoofdtoedrachten

Bij kruisingen met stroomwegen is de toedracht nr. 11 *'niet voldoende afstand bewaren'*, met aandelen rond de 30% dominerend. Bij type 1x1 is *'de macht over het stuur verliezen'* (nr. 77 groep F) ook een belangrijke toedracht. Voor type 1x2 is dat nr. 30 *'geen voorgang geven'* en voor type 1x3 is dat nr. 01 *'door rood verkeerslicht rijden'*. De toedracht *'geen voorgang geven'* is voor bijna alle overige kruisingen de belangrijkste toedracht met percentages van 27 tot 48%. Bij type 2x3 heeft deze toedracht slechts 20% en is de belangrijkste toedracht *'door rood verkeerslicht rijden'* met 26%. Qua absolute aantallen letselongevallen spelen kruisingen van het type 2x4, 3x3 en 3x5 de belangrijkste rol (tabel 3.12 en bijlage 3).

Tabel 3.12: Analyse kruising–hoofdtoedracht (Zuid-Holland 1995-2000, complete tabel in bijlage 3)

Ongevallen op kruising in Z-H	1. SW	2. GOW-bu					3. GOW-bi			
	1x1	2x2	1x2	2x3	2x4	2x5	3x3	1x3	3x4	3x5
hoofdtoedrachten										
A. Toedr. van best. van vrtg. verkeerstekens										
01 door stopteken/rood verk.licht <i>afstand bewaren</i>	1%	12%	11%	26%	4%	7%	16%	27%	11%	7%
11 onvoldoende afstand bewaren <i>voorrang/doorgang verlenen</i>	26%	24%	38%	20%	15%	14%	14%	30%	13%	9%
30 geen voorrang gegeven	4%	27%	23%	20%	46%	38%	27%	13%	33%	35%
31 geen doorgang geven <i>snelheid</i>	2%	10%	8%	10%	15%	19%	18%	6%	20%	23%
35 te snel rijden		1%	2%		0%		1%	2%	1%	1%
F. Overige omstandigheden										
77 macht over stuur verliezen	23%	6%	5%	2%	3%	7%	2%	2%	2%	2%
aantal letselongevallen (gem. per jaar)	14	40	29	26	127	12	474	27	32	1418
OWN										
(percentages geven het aandeel van het totaal aantal letselongevallen per kruisingstype.)										

3.4 Samenvatting analyse ongevallen in Zuid-Holland

3.4.1 Ongevallen in Zuid-Holland

De data van Zuid-Holland geven voor de periode 1995-2000 het volgende beeld: Het OWN neemt meer dan de helft van zowel het totale aantal dodelijke (55%) als van het aantal letselongevallen (54%) voor rekening. De Gebiedsontsluitingsweg binnen de kom neemt alleen al meer dan een derde van de dodelijke ongevallen (36%) voor rekening en iets minder dan de helft van het aantal letselongevallen (45%) in Zuid-Holland.

3.4.2 Analyse ongevallen op wegvakken

Op wegvakken van het OWN vindt binnen de kom met 17% het grootste deel van het totaal aantal letselongevallen in Zuid-Holland plaats. Het dodelijk risico is buiten de kom het hoogst. Het letselongevalrisico is echter binnen de kom het hoogst. Zowel op wegvakken buiten als binnen de kom van het OWN spelen *langsconflicten* en de toedracht 'onvoldoende afstand bewaren' een belangrijke rol.

3.4.3 Analyse ongevallen op kruisingen

Op kruisingen buiten de kom gebeuren de meeste ongevallen op type 2x4 (4% van het totaal aantal letselongevallen in Zuid-Holland). Dit type kruising heeft een hoog fataal risico (als gevolg van de hoge mortaliteit), minstens 2 keer zo groot als binnen de kom. Binnen de kom gebeuren de meeste ongevallen op kruisingen van het type 3x5 (21%), gevolgd door type 3x3 (7%). Van deze twee heeft type 3x3 de hoogste risico's.

Tabel 3.13: Toedeling kruisingen aan DV-categorie OWN.

DV-categorie OWN	wegvaktype	kruisingstype				
GOW-bu	2	2x2	1x2	2x3	2x4	2x5
GOW-bi	3	3x3	1x3	3x4	3x5	

Delen we de verschillende typen kruisingen toe aan DV-categorieën volgens tabel 3.13 dan ontstaat op het OWN het volgende beeld: Kruisingen binnen de kom nemen 22% van de dodelijke en 28% van de letselongevallen voor rekening. Buiten de kom is dat veel lager met 6% resp. 3%. De mortaliteit is het grootst buiten de kom. De ongevaldichtheid is het grootst binnen de kom. Hoewel kruisingen in het OWN hetzelfde letselongevalrisico hebben is het dodelijk risico buiten de kom ruim twee keer zo hoog als er binnen. Op de kruisingen spelen *dwardsconflicten* en de toedracht 'geen voorrang/doorgang verlenen' de belangrijkste rol.

3.4.4 Onveiligheid OWN

Als wegvakken en kruisingen worden samengevoegd dan blijkt het OWN meer dan de helft van zowel het totale aantal dodelijke als het totale aantal letselongevallen voor rekening te nemen. Het fatale risico is buiten de kom hoog. Het letselongevalrisico is echter binnen de kom hoger dan er buiten. Op grond hiervan is niet te zeggen welke categorie van het OWN het onveiligst is. Wel kan geconcludeerd worden dat de kruising in de Gebiedsontsluitingsweg buiten de kom (GOW-bu (k)) het onveiligst is vanwege het hoge fatale risico. Op dit type kruising spelen ongevallen tussen snel verkeer (s*s) een grote rol.

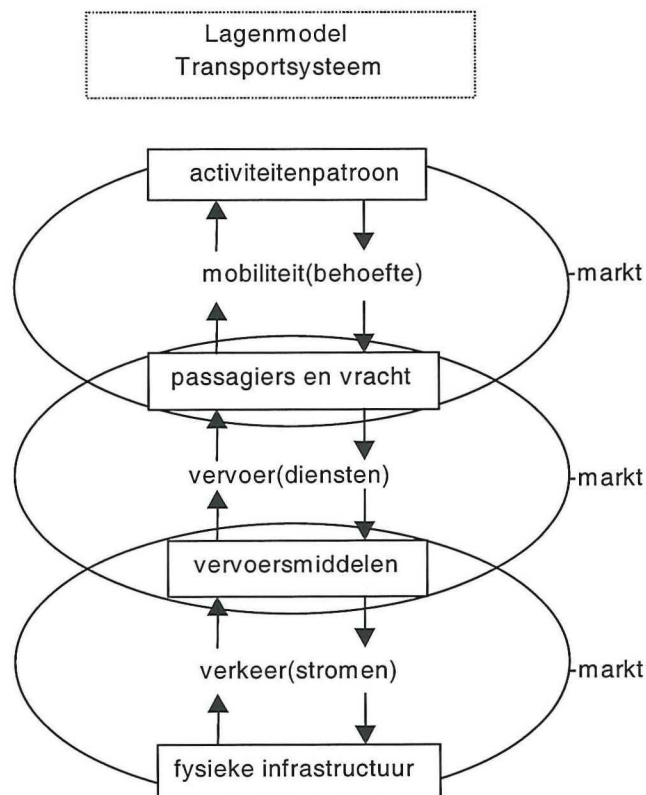
Hoofdstuk 4 Inventarisatie en analyse ADAS

Dit vierde hoofdstuk geeft een schematisch overzicht van Advanced Driver Assistance Systems en maakt een koppeling met manoeuvres en toedrachten die voorkomen kunnen worden. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in de belangrijkste soorten ADAS die reeds op de markt of in ontwikkeling zijn en wat het effect is op de verkeersveiligheid. De resultaten van dit hoofdstuk zijn een indeling van de belangrijkste soorten ADAS in categorieën met een overzicht van het percentage ongevallen dat potentieel te voorkomen is.

4.1 Inventarisatie ADAS

4.1.1 Intelligente transportsystemen

Om tot een inzichtelijke ordening te komen van de verschijnselen mobiliteit, vervoer en verkeer is binnen de Rotterdam/Delft Onderzoekschool Transport, Infrastructuur en Logistiek (TRAIL) een 'Multi-layered systems view on Transportation' ontwikkeld (Marchau e.a. 2000 en Van der Heijden 1999). Dit ordeningsprincipe heeft als uitgangspunt dat het transportsysteem opgebouwd is uit meerdere lagen. Elke laag wordt gekarakteriseerd door (fysieke) eigenschappen (van onder naar boven): de fysieke infrastructuur, de vervoermiddelen, de kenmerken van de te vervoeren mensen en goederen en de kenmerken van de gewenste activiteiten in de ruimte en de tijd. De onderlinge beïnvloeding van deze (fysieke) lagen vindt plaats op drie tussenliggende markten: de verkeer(stromen)markt, de vervoer(diensten)markt en de mobiliteit(behoefte)markt. Op deze markten wordt de manifeste vraag afgestemd op het gegeven aanbod. Elke onderliggende laag levert diensten (aanbod) aan de laag erboven en vice versa stelt elke bovenliggende laag eisen aan (de dienstverlening van) de onderliggende laag. Figuur 4.1 toont de lagen en markten van het transportsysteem.



Figuur 4.1: Lagenmodel transportsysteem.

Intelligente transportsystemen (ITS) zijn telematicatoepassingen (ook wel aangeduid als informatie- en communicatie technologie, ICT) binnen het verkeer en vervoer. In alle lagen van het transportsysteem zijn toepassingen mogelijk. Tevens kan één enkele toepassing invloed hebben op zowel de mobiliteit-, vervoer- als de verkeermarkt. Totnogtoe is de meeste

'intelligentie' toegepast op de autosnelwegen. Dit heeft vooral te maken met de problemen rond de doorstroming. In de media heeft de laatste jaren het rekeningrijden veel aandacht gekregen. Het overheidsbeleid heeft de tolpoortjes (infrastructuurgebonden) verlaten en richtte zich tijdens het tweede paarse kabinet op Piepers' kilometerheffing waarbij voertuigen worden uitgerust met een zogenaamde 'Mobimeter'. Mondiaal lag de nadruk op de weginfrastructuur, maar de laatste jaren is een verschuiving te zien via intelligente voertuigen naar intelligente transportsystemen. Zo heeft men eind jaren negentig in de VS een ommezwaai gemaakt van lange termijnbeleid gericht op infrastructuur (Automatic Highway System project) naar voertuigericht beleid (Intelligent Vehicle Initiative). In Japan echter, richt men zich in de Advanced Cruise-Assist Highway System Research Association (ASHSRA) op infra-gebonden systemen (Smart Road) die informatie doorgeven aan het voertuig. Het brede scala aan huidige en toekomstige ITS-toepassingen is aan de hand van het Lagenmodel Transport te positioneren. Tabel 4.1 toont de modellagen met bijbehorende beleidsdoelen en ITS-toepassingen zoals gepositioneerd door Marchau (2000) en Van der Heijden (1999).

Tabel 4.1 Lagen transportsysteem in relatie met beleidsdoelen en ITS-toepassingen (bron: Marchau 2000).

Modellaag	Beleidsdoel	ITS-categorie	Mogelijke ITS-toepassing
Activiteiten-patroon	Maximaliseer mobiliteit mensen, goederen en informatie		
Mobiliteit-markt	Reduceer onnodig fysiek transport	Systemen voor virtuele mobiliteit	-e-commerce -Telewerken, -leren, -vergaderen, -shoppen, etc.
Passagiers en vracht	Optimaliseer toegang en gebruik van vervoersysteem	Informatie-voorziening voor vervoerdiensten, reserveren van diensten	-Multimodale vervoersplanner (Odeysee) -Reisinfo via radio, teletekst, internet -Smartcards -Reismatching en reservering -OV op afroep
Vervoer-markt	Verbeter planning van logistiek ten gunste van veiligheid, milieu, efficiency en kosten	Vloot-management	-Pre-trip routeplanners -Tracking en tracing -Elektronische klaring en passage
Vervoer-middelen	Verbeter rijgedrag en eigenschappen voertuig	In-car reisinformatie	-In-car routenavigatie -Informatie inzake diensten en attracties
		Naleving zorgvuldig rijgedrag	-Crash recorders -Intelligente snelheidsadaptatie -Instructie bestuurder
		Voertuig-beheersing en -veiligheid	-Voertuigvolgen -Longitudinale/laterale botsvermijding -Koersondersteuning -Botsvermijding op kruispunten -Zichtverbetering -Diagnose bestuurder/voertuig/weg -Platooning
Verkeer-markt	Maximaliseer capaciteit van beschikbare infrastructuur en verzorg een veilige en vlotte verkeerstrom	Routegeleiding	-Dynamisch routeadvies (DRIP, VMS) -Routegeleiding (RDS-TMC, GSM)
		Benutting	-Dynamische rijstrookindeling -Dynamische rijstrooktoewijzing -Toeritdosering -Elektronische tolheffing -Dynamische verkeerslichtenregeling -Dynamische Park&Ride informatie -Matrixborden (MCSS)
		Toezicht- en handhaving	-Trajectcontrole -Videobewaking -Controle emissie/geluid

		Incident management	-Hulp coördinatie en routegeleiding -Gevaarlijke stoffen incidentmelding -Incident signalering
Infra-structuur	Vermijd flessenhalzen en reduceer behoefte aan uitbreiding en onderhoud	Infra-, beheer- en onderhouds-management	-Monitoring weg/weer condities t.b.v. onderhoud -Veiligheidsysteem bij wegwerkzaamheden

4.1.2 Advanced Driver Assistance System

In de huidige generatie voertuigen wordt steeds meer telematica toegepast. Een decennium geleden was het Anti Blokkeer Systeem (ABS) slechts als optie beschikbaar in de duurdere klasse, terwijl deze technologie en andere systemen als Traction Control System (TCS) en Electronic Stability Program (ESP) door de meeste fabrikanten nu standaard in elke nieuwe auto worden ingebouwd. Hier is het echter niet bij gebleven. In de nieuwste generatie auto's worden als extraatje parkeerhulpjes (PA: Parking Assistant) ingebouwd en zijn zelfs middenklassers als de Nissan Primera en Fiat Stilo voorzien van Adaptieve Cruisecontrol (ACC). Autoradio's zijn tegenwoordig uitgerust met RDS-TMC (Radio Data System-Traffic Massage Channel) waarmee actuele verkeersinformatie wordt ontvangen tijdens de rit. Daarnaast zijn systemen voor routegeleiding in het voertuig sterk in opmars (Travel Pilot, CARIN, ANWB, etc.). Voorlopig geven deze zogenaamde route-navigatiesystemen alleen adviezen die gebaseerd zijn op statische informatie. In de komende 10 jaar wordt verwacht dat deze hun adviezen ook kunnen baseren op dynamische informatie van verkeersmanagement systemen. Fabrikanten staan te trappelen om hun concurrentiepositie te verbeteren met de introductie van technische innovaties op dit gebied, maar de meeste technieken verkeren nog in een experimentele fase. Daimler-Chrysler loopt wat dat betreft voor de muziek uit door in een tv-commercial reclame te maken voor een detectiesysteem met 'oog' voor voetgangers (PW: Pedestrian Warning) dat echter nog (lang) niet rijp is voor introductie op de weg. De verwachting is echter dat er hoe dan ook steeds meer voertuiggebonden ITS-systemen op de markt gaan komen die de rijtaak van de bestuurder ondersteunen en zelfs gedeeltelijk gaan overnemen. Indien alleen sprake is van rijtaakondersteunende systemen voor voertuigen op de openbare weg (waarbij de bestuurder dus 'in control' of 'in-the-loop' blijft) wordt in Europa gesproken over ADAS of ADA-systemen. In Nederland wordt de Engelse benaming Advanced Driver Assistance System (ADAS) gehanteerd of de Nederlandse 'vertaling' geavanceerde rijtaakondersteunende systemen. Andere termen die in de literatuur gebruikt worden voor ADAS zijn o.a. 'in-car system', bestuurder-ondersteuningssysteem en Decision Support System (DSS).

Advanced Driver Assistance-systemen (ADA-systemen) vormen een deelverzameling van systemen voor Automatische Voertuiggeleiding (AVG-systemen). AVG-systemen zijn voertuig- en/of infrastructuur gebonden intelligente transportsystemen die geheel of gedeeltelijk rijtaken van een bestuurder overnemen. Toepassingen zijn zowel te vinden in het goedertransport (bijvoorbeeld het geautomatiseerde containertransport bij ECT in de haven van Rotterdam) als in het personenvervoer (bijvoorbeeld de geautomatiseerde peplemover in Capelle aan de IJssel en op parkeerterreinen van luchthavens). AVG-systemen worden binnen het Lagenmodel Transport gepositioneerd op de laag Vervoermiddelen. De AVG-systemen hebben invloed op zowel de Vervoermarkt als de Verkeermarkt. Daarnaast kan de invloed tevens uitstrekken tot bovenliggende lagen en kunnen eisen gesteld worden aan onderliggende laag Infrastructuur. Zo kan het voor bijvoorbeeld Koersondersteuning nodig zijn dat de infrastructuur is voorzien van goede belijning of zelfs magneetjes in het wegdek en is er een vorm van Intelligente snelheidsadaptatie getest dat gebruik maakt van bakens langs de kant van de weg.

Hoe werkt een Advanced Driver Assistance-systeem?

De chauffeur bestuurt het voertuig. Hij gebruikt daarbij informatie die hij verkrijgt door naar het wegbeeld en de omgeving te kijken. Deze informatie kan door het ADA-systeem aangevuld worden met informatie van bijvoorbeeld camera's (zichtbaar licht, infrarood), boordradarsystemen (afstanden tot bewegende of stilstaande objecten) en locatiebepaling van het voertuig in combinatie met elektronisch kaartmateriaal, voertuig-wal-communicatie enzovoorts. De informatie, die verzameld wordt met behulp van sensoren, wordt in de control unit gevalideerd, geanalyseerd en samengevoegd en aan de bestuurder gepresenteerd. Dit

kan zijn door middel van een geluidssignaal, een optisch signaal zoals een lampje of via een beeldscherm, maar ook mechanisch door bijvoorbeeld tegendruk te leveren op het gaspedaal bij een te hoge snelheid of door activering van het rempedaal, het laten trillen van het stuur enz. Bij de eerste generatie ADA-systemen blijft de bestuurder heer en meester over zijn voertuig en kan hij altijd signalen negeren of het effect ervan teniet doen. Voorbeelden zijn Intelligente Snelheidsadaptatie (ISA), Automatische/Adaptieve (Intelligente) Cruisecontrol (A(I)CC), Lane Keeping System (LKS), en botsingsvermijdingsystemen (Collision Avoidance, CA). Deze systemen grijpen vooral in op het tactische en operationele niveau van de rijtaak zoals het waarnemen, beslissen en besturen en minder op het strategische niveau zoals de keuze van bestemming en vervoermiddel.

4.1.3 Veiligheid ADAS

Tot op heden worden ADAS-toepassingen verkocht als 'comfort-systemen'. De ontwikkeling is veelal 'technology-driven' in plaats van gestuurd door de maatschappelijke behoeften. De veiligheidseffecten zijn vooralsnog moeilijk te schatten, maar de verwachtingen zijn hoog gespannen. In Japan verwacht men een daling van de fatale verkeersongevallen met 80 procent bij invoering van diverse ITS (Eenink 2001a). Bij een volledige invoering van ISA in Nederland is de verwachting dat het aantal (ernstige) letselslachtoffers met 25 tot 30% daalt (Oei 2001b). Bij de toepassing van navigatiesystemen zullen er als gevolg van het voorkomen van omrij-kilometers 5 à 7% minder slachtoffers vallen (Oei 2001a). Bij invoering van ACC kunnen in het gunstigste geval 60% van de kop-staartongevallen op snelwegen en 40% op de lagere orde-wegen buiten de bebouwde kom voorkomen worden (Oei 1999).

In de voorgaande hoofdstukken is het onderwerp verkeers(on)veiligheid benaderd aan de hand van empirische data over ongevallen en verkeersprestatie in het verleden. Het ex ante evalueren van de effecten op de verkeersveiligheid van toekomstige ADAS-toepassingen ligt veel complexer. Kennis over de werking en het gebruik van de nieuwe toepassingen is onvoldoende voor handen en empirische data ontbreken of hebben betrekking op een te klein gebied of te korte periode. In dit onderzoek wordt een poging gedaan de veiligheidseffecten te schatten door de (huidige) empirische ongevaldata te koppelen aan de (toekomstige) ADAS-toepassingen.

Bij het bepalen van de veiligheidseffecten is er onderscheid te maken naar de veiligheid van het verkeersproces, het veilig gebruik door de bestuurder en de veiligheid van het (interne) systeem. Marchau (1996) hanteert drie veiligheidsniveaus voor nieuwe telematica toepassingen:

- Het *hoogste niveau* beschouwt de veiligheidseffecten van een systeem in relatie tot verkeersstromen. Primair in termen van de verandering van volgafstand, volgtijd, capaciteit, snelheid en snelheidsvariatie van verkeersstromen en secundair in termen van verandering in reistijd en reisafstand.
- Het *middelste niveau* beschouwt de effecten van een systeem op het rijgedrag van bestuurders in termen van over- en onderbelasting, gedragsadaptatie en compensatie, mens-machine interactie, routine en rijstijl, etc.
- Het *laagste niveau* beschouwt de veiligheidsaspecten van een systeem in termen van betrouwbaarheid en faalkans, interferentie-gevoeligheid met andere systemen, met mens-machine interactie etc.

Naar de veiligheid in gebruik (middelste veiligheidsniveau) en de systeemveiligheid (laagste niveau) wordt in dit afstudeeronderzoek niet expliciet gekeken. In hoofdstuk 6, 7 en 8 wordt dieper ingegaan op een enkele ADAS en hierbij komen veiligheid in gebruik en systeemveiligheid kort aan de orde. Naar de invloed van ADAS op het verkeersproces – met name op autosnelwegen – is onderzoek gedaan door middel van modelsimulaties (Hoogendoorn e.a. 2000 en 2001), rijsimulatoren (Hoedemaker 1999), experimenten op een testbaan of met een testvoertuig (Várhelyi 1998) en praktijktests op de openbare weg (Carsten e.a. 2000). Over de effecten op het onderliggend wegennet is weinig bekend. Dit afstudeeronderzoek beoogt meer zicht te krijgen in de effecten op het verkeersproces (hoogste veiligheidsniveau) met betrekking tot bestaande en/of kansrijke toekomstige ADAS. Met het oog op technische, economische en politieke haalbaarheid zijn naast de veiligheidseffecten ook de effecten op de efficiëntie van het verkeerstrom-proces (capaciteit en reistijd) van belang.

4.1.4 Indeling ADAS

De grote groep ADAS kan op diverse wijzen worden ingedeeld. In tabel 4.1 van het Lagenmodel Transport worden binnen de laag Vervoermiddelen de ADA-systemen verdeeld in de categorieën: In-car reisinformatie, Naleving zorgvuldig rijgedrag en Voertuigbeheersing en –veiligheid. Deze drie categorieën zijn vervolgens onderverdeeld in totaal 12 sub-categorieën (in de tabel ITS-toepassingen genoemd). In het SWOV-rapport *Ontwikkelingen op het gebied van intelligente transportsystemen* (Eenink 2001a) is gekozen voor een indeling in expositie (navigatie met name), longitudinale en laterale controle en combinaties daarvan. In een ander SWOV-rapport (Heijer 1997) is pre-crash, crash (tactisch en operationeel niveau) en post-crash gekozen. Ook de European Transport Safety Council (ETSC 1999) kiest voor een indeling naar expositie, pre-crash, crash en post-crash. Het Europese onderzoeksproject ADVISORS (2001) maakt ook onderscheid naar voorkomen (pre-crash), en beperken (crash, post-crash). De Visser (1998) verdeelt de longitudinale systemen onder in Intelligente snelheidsadaptor (ISA), Intelligente cruisecontrol (ICC) en Front obstacle collision avoidance (CA-F). De laterale systemen deelt hij onder in Lane keeping support (LKS) en Side obstacle collision avoidance (CA-S). De studie *Saving Lives, Time and Money Using Intelligent Transportation Systems* in opdracht van het U.S. Department of Transport (US DoT 2000) noemt een tiental ‘user services’ die met verkeersveiligheid te maken hebben (tabel 4.2). In *Automatische Voertuiggeleiding met ADA-technologie; perspectieven voor veiligheid en benutting* (Bastiaensen 2000) worden ADA-systemen geassocieerd naar functionaliteit (tabel 4.3).

Tabel 4.2: ‘User services’ (bron: US DoT 2000).

1.	Navigatie
2.	Incident & emergency management
3.	On-board safety monitoring
4.	Longitudinal collision avoidance
5.	Lateral collision avoidance
6.	Intersection collision avoidance
7.	Vision enhancement for crash avoidance
8.	Safety readiness
9.	Pre-crash restraint development
10.	Automated vehicle operation

Tabel 4.3: ADAS-functionaliteit volgens Bastiaensen (2000).

1.	Ondersteuning bij snelheid regelen, snelheid aanpassen, speed assistant
2.	Ondersteuning bij het koers houden, lane keeping
3.	Kantelwaarschuwingssystemen en andere systemen voor voertuig-infradiagnose zoals vehicle diagnostics & dynamics en roll stability control, road surface monitoring (alarmeren voor gladheid)
4.	Objecten detecteren, collision warning/avoidance systemen
5.	Zichtveld verbeteren: vision enhancement, active headlights (meedraaiende koplampen)
6.	Ondersteuning bij het afstand houden ten opzichte van de voorganger, adaptive cruise control, stop & go, platooning
7.	Monitoren bestuurder: drowsy driver warning, driver inattention warning

De ADVISORS⁴-studie *State of the art on ADA systems, user needs, their evaluation results and current implementation trends* (ADVISORS 2001) maakt onderscheid tussen pre-crash, crash en post-crash. Tabel 4.4 toont deze indeling van ADAS naar functionaliteit in 9 categorieën en 30 subcategorieën. In paragraaf 4.2 wordt voor de pre-crash functionaliteiten bekeken wat het mogelijke effect op de verkeersveiligheid is.

⁴ ADVISORS is een Europees onderzoeksproject dat gefinancierd is door de EU in het kader van het 'Competitive and Sustainable Growth' programma. ADVISORS is een acroniem voor Action for advanced Driver assistance and Vehicle control systems Implementation, Standardisation, Optimum use of the Road network and Safety.

Tabel 4.3: ADAS-functionaliteit volgens ADVISORS (2001).

PRE CRASH	
<p>1. Navigation based function</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enhanced navigation; navigation routing • Real time traffic and traveller information; Distributed navigation <p>2. Longitudinal control</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speed control; Curve speed control • Advanced Cruise Control • Stop and Go <p>3. Lateral control</p> <ul style="list-style-type: none"> • Road departure; Lane departure collision avoidance • Lane change and merge collision avoidance <p>4. Collision avoidance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rear-end collision avoidance; Pre-crash sensing • Obstacle detection; Pedestrian detection • Intersection collision avoidance • Rail-road crossing collision avoidance <p>5. General control (longitudinal & lateral)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Platoon driving assistant • Overtake checker 	<p>6. Driver monitoring</p> <ul style="list-style-type: none"> • Driver vigilance monitoring • Driver health monitoring <p>7. Vehicle status monitoring</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tachograph (data recorder) • Vehicle diagnostics <p>8. Perception</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vision enhancement; night vision • Electronic mirror • Blind Spot detection • Reversing Aid / Parking aid • State of the road surface ; Low friction warning <p>9. Man-Machine Communication</p> <ul style="list-style-type: none"> • Driver convenience communication • On-board hands-free functions • Driver identification and automatic cockpit configuration • Automated transactions; Electronic toll collection
CRASH	
<ul style="list-style-type: none"> • Smart Restraints 	
POST CRASH	
<ul style="list-style-type: none"> • Alerting systems • Automatic collision notification • Specific phone call number 	

4.2 Analyse ADAS-functionaliteit

In deze paragraaf wordt van de meeste systemen die volgens ADVISORS vallen onder 'pre-crash' bekeken welke manoeuvres en toedrachten mogelijk kunnen worden voorkomen. Belangrijkste bronnen hierbij zijn de 'short descriptions, characteristics, techniques and technologies' zoals die per systeem zijn opgenomen in ADVISORS (2001). Deze gegevens zijn zonodig aangevuld met informatie uit de indeling van De Visser (1998). De bij de manoeuvres en toedrachten behorende aantallen letselongevallen komen uit het databestand met ongevallen in Zuid-Holland gedurende de periode 1995-2000 (zie hoofdstuk 3).

In eerste instantie is de werking van een systeem beschreven aan de hand van ongevalsmanoeuvres. Niet ieder systeem leent zich hier voor. Daarom is tevens bepaald welke toedrachten voorkomen kunnen worden. Sommige systemen werken alleen op een rechte weg, bocht (Curve speed control) of kruising (Intersection CA). In dit hoofdstuk wordt slechts onderscheid gemaakt naar ongevallocatie (wegvak of kruising), terwijl in hoofdstuk 5 het potentiële effect van elk ADA-systeem per DV-wegcategorie wordt bepaald. Bijlage 4 toont voorbeelden van de koppeling van manoeuvres en toedrachten met de diverse ADA-systemen voor wegvakken van de GOW-bu en kruisingen van het type 1x2.

4.2.1 Koppeling ADAS-functionaliteit met manoeuvres

-Navigation based function (navigatie)

- Navigatiesystemen kunnen (gevaarlijk) zoekgedrag voorkomen en zullen door het voorkomen van omrij-kilometers invloed hebben op de expositie. Deze (indirecte) effecten zijn echter niet te koppelen aan manoeuvres.

-Driver monitoring (controle van de toestand van de bestuurder) is niet te koppelen aan manoeuvres.

-**Vehicle status monitoring** (controle van de toestand van het voertuig) is niet te koppelen aan manoeuvres.

-**Longitudinal control** (longitudinale controle)

- Speed control (ISA) werkt op elke manoeuvre die plaats vindt bij een te hoge snelheid, maar elimineert niet een bepaalde manoeuvre. (In hoofdstuk 5 en 6 wordt hiervoor een alternatieve methode beschreven)
- Curve speed control kan gekoppeld worden aan manoeuvre nr. 22 'van de weg af in/na bocht', maar neemt een verwaarloosbaar aandeel van het totaal aantal ongevallen voor rekening. Maximaal 1% van de ongevallen op een wegvak van een SW en ETW-bu zou voorkomen kunnen worden.
- Advanced Cruise Control (ACC) werkt m.n. bij langscnflcten en kan gekoppeld worden met m.n. de manoeuvres nr. 111 en 121 'kop-staart volle snelheid of remmend'. ACC heeft betrekking op 16% van het totaal aantal ongevallen op een wegvak en 8% op een kruising.
- Stop and Go is niet goed te koppelen aan een manoeuvre. Dit systeem is ontwikkeld voor gebruik in files en zal voornamelijk ongevallen bij lage snelheid met geringe ernst (blijkschade) tegen gaan en is voor dit onderzoek, dat zich richt op letselongevallen, minder interessant.

-**Lateral control** (laterale controle)

- Road departure collision avoidance / Lane Departure Warning Assistant (LDWA) werkt m.n. bij frontale en eenzijdige conflicten en kan gekoppeld worden met de manoeuvres nr. 221 'schampbotsing' en nr. 021-042 'van de weg af'. Op wegvakken heeft dit betrekking op 3% van het totaal aantal ongevallen.
- Lane change and merge collision avoidance werkt m.n. bij langscnflcten en bij con- en divergeren en kan gekoppeld worden met m.n. de manoeuvres nr. 131-142 'inhalen, schampen en rijstrookverandering'. Dit heeft betrekking op 7% van het totaal aantal ongevallen op een wegvak en 1% op een kruising.

-**General control** (combinatie van longitudinale en laterale controle)

- Platooning driving assistant werkt bij langscnflcten en kan gekoppeld worden met de manoeuvres nr. 111-122 'kop-staart volle snelheid, remmend of gestopt'. Dit heeft betrekking op 20% van het totaal aantal wegvakongevallen en op 10% kruisingsongevallen.
- Overtake checker werkt bij het langscnflct inhalen. Dat zijn de manoeuvres nr. 131-133 'rechts, links en dubbel inhalen', die slechts 1% van de ongevallen op wegvakken vertegenwoordigen.

-**Collision avoidance** (botsvermijding)

- Rear-end collision avoidance werkt bij langscnflcten en kan gekoppeld worden met de manoeuvres 'kop-staart volle snelheid of remmend' en nr. 311 en 321 'links of rechts afslaand voertuig wordt van achter aangereden'. Dit heeft betrekking op 16% van het totaal aantal wegvakongevallen en op 8% kruisingsongevallen.
- Obstacle detection / Pedestrian detection detecteert in het ideale geval alle obstakels en voetgangers. Vooralsnog zijn de vooruitzichten dat alleen grote obstakels en niet te snel bewegende voertuigen en voetgangers die zich op de rijbaan bevinden goed kunnen worden gedetecteerd. De verwachting is dat een deel van de frontale botsingen voorkomen kunnen worden. Er is een koppeling gemaakt met de manoeuvres uit de groep langscnflcten: 'kop-staart gestopt', nr 851 'voetganger loopt op rijweg'. Con- en divergeren: nr. 331 en 441 'omkerend vrtg'. Dwarsconflicten: nr. 451 'dwars overstekend vrtg', nr 513 'op kruising stilstaand vrtg', nr 811 en 812 'voetganger op v.o.p.' Frontale conflicten: nr. 211 'frontaal zonder rijstrook verandering' en 'schampbotsing'. In het totaal heeft dit betrekking op 21% van het totaal aantal wegvakongevallen en op 11% van de kruisingsongevallen.
- Intersection collision avoidance (ICA) wordt ontwikkeld als autonome variant en als variant waarbij er communicatie is tussen detectoren op de kruising en het voertuig. In principe zou het systeem werken bij alle dwarsconflicten op een kruising, maar plotseling tevoorschijnkomende voetgangers blijven een probleem. Er is hier een koppeling gemaakt met alle manoeuvres die onder de groep dwarsconflicten vallen met uitzondering van voetgangers die niet op een v.o.p. oversteken (nr. 813-899). Deze koppeling heeft betrekking op 52% van de kruisingsongevallen (werkt niet op wegvak).

-Perception (waarneming)

- State of the road surface / Low friction warning kan eenzijdige conflicten die het gevolg zijn van de manoeuvre nr 11 'niet van de weg af/slippen'. Dit heeft betrekking op 7% resp. 3% van het totaal aantal ongevallen op wegvak resp. kruising.

-Man-Machine Communication heeft vooral invloed op het gedrag van de bestuurder (middelste veiligheidsniveau) en wordt in dit onderzoek verder buiten beschouwing gelaten.

Tabel 4.5 geeft een overzicht van het percentage ongevallen op een wegvak cq. kruising waarop de aan het ADAS gekoppelde manoeuvres betrekking hebben. Bij volledige invoering van het betreffende systeem kan dit percentage van de ongevalmanoeuvres voorkomen worden. Tevens zijn de percentages gesommeerd per ADAS-categorie (met correctie voor overlap). Een waarde van '0%' in de tabel dient gelezen te worden als 'kleiner dan 0.5%'.

Tabel 4.5: ADAS gekoppeld aan Manoeuvres.

ADA-systeem x Manoeuvre	potentieel te voorkomen letselongevallen	
	wegvak	kruising
-Longitudinal control	17%	8%
Curve speed control	0%	0%
Advanced Cruise Control	16%	8%
Stop and Go	0%	0%
-Lateral control.	10%	1%
Road departure CA / Lane departure WA	3%	0%
Lane change and merge CA	7%	1%
-General control	21%	10%
Platooning driving assistant	20%	10%
Overtake checker	1%	0%
-Collision avoidance	37%	65%
Rear-end CA / Pre-crash sensing	16%	8%
Obstacle detection / Pedestrian detection	21%	11%
Intersection collision avoidance	0%	52%
-Perception	7%	3%
State of the road surface / Low friction warning	7%	3%
(percentages geven aandeel van totaal aantal letselongevallen op wegvak cq. kruising)		

4.2.2 Koppeling ADAS-functionaliteit met hoofdtoedrachten

Tabel 4.6 geeft een overzicht van welke toedrachten mogelijk voorkomen kunnen worden door de diverse ADA-systemen. Tevens toont de tabel het percentage ongevallen op een wegvak cq. kruising waarop de aan het ADA-systeem gekoppelde toedrachten betrekking hebben. Tevens zijn de percentages gesommeerd per ADAS- categorie (met correctie voor overlap).

Tabel 4.6: ADAS gekoppeld aan Toedrachten.

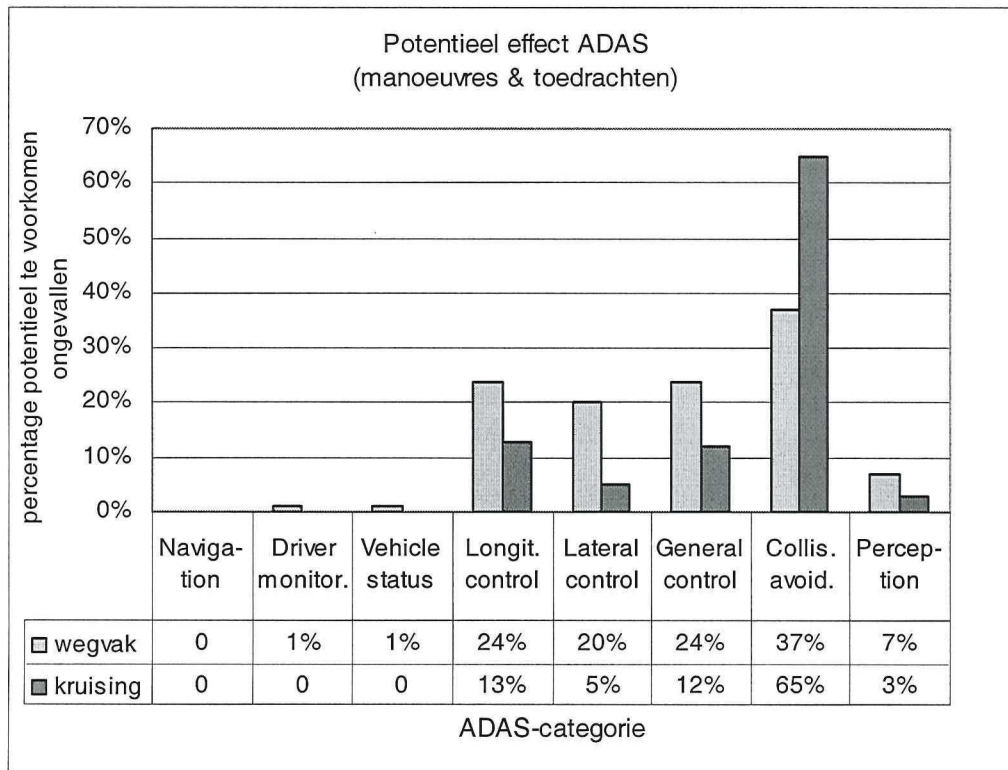
ADA-systeem	x	Hoofdtoedracht	potentieel te voorkomen letselongevallen	
			wegvak	kruising
-Navigation based function		03 eenrichtingsweg in verboden richting, 04 spookrijder	0%	0%
-Driver monitoring			1%	0%
Driver vigilance monitoring		80 slaap/ziekte	1%	0%
Driver health monitoring		79 alcohol/medicijnen/drugs gebruik, 80 slaap/ziekte	1%	0%
-Vehicle status monitoring		40 onjuiste/geen verlichting voeren, 70 mechanisch gebrek	1%	0%
-Longitudinal control			24%	13%
Speed control (ISA)		35 te snel rijden	1%	1%
Curve speed control		35 te snel rijden, 39 bocht fout nemen	6%	3%
Advanced Cruise Control		11 niet voldoende afstand bewaren	17%	9%
Stop and Go		11 niet voldoende afstand bewaren, 12 onverwacht/plotseling remmen	18%	10%
-Lateral control.			20%	5%
Road departure / Lane departure CA		25 onvoldoende rechts rijden, 26 teveel rechts rijden	12%	3%
Lane change and merge collision avoidance		08 verkeerd invoegen, 09 verkeerd uitvoegen, 17 inhalen rechts, 18 inhalen links, 19 snijden	8%	2%
-General control			24%	12%
Platooning driving assistant		11 niet voldoende afstand bewaren, 12 onverwacht/plotseling remmen	18%	10%
Overtake checker		18 inhalen links, 19 snijden	6%	2%
-Collision avoidance			6%	58%
Rear-end CA / Pre-crash sensing			~	~
Obstacle detection / Pedestrian detection		23 zich als obstakel op de weg bevinden, 51 onvoorz. oversteken, 52 spelen op de weg/trottoir e.d, 53 onvoorzichtig op de weg lopen, 84 los voorwerp op de weg	6%	2%
Intersection collision avoidance		30 geen voorrang gegeven, 31 geen doorgang geven	~	56%
-Perception			4%	2%
Vision enhancement / night vision		22 onverlicht parkeren, 81 onvoldoende straatverlichting	0%	0%
Blind Spot detection		68 onoverzichtelijke hoek of bocht	0%	0%
Reversing Aid / Parking aid		21 verkeerde parkeer manoeuvre	0%	0%
State of the road surface / Low friction warning		65 slippen ivm sneeuw/ijzel/opvriezen, 66 slippen door olie, bladeren e.d.	3%	2%

(percentages geven aandeel van totaal aantal letselongevallen op wegvak cq. kruising)

4.2.3 Potentieel effect ADAS per wegvak en kruising

Nemen we de potentieel te voorkomen manoeuvres en hoofdtoedrachten samen dan ontstaat voor het gehele wegennet in Zuid-Holland het volgende beeld (figuur 4.2): Over het potentiële effect van navigatiesystemen kan met deze methode zoals verwacht niets gezegd worden. De monitoringsystemen kunnen volgens deze methode maximaal 1% van de wegvakongevallen voorkomen. Het potentiële effect van Perception ligt tussen de 3% en 7%. Voor Longitudinal control, Lateral control en General control zijn de verwachte effecten hoog. Op wegvakken kunnen 20% tot 24% van de ongevallen in Zuid-Holland mogelijk voorkomen worden. Van de Collision avoidance-systemen is op wegvakken zelfs een besparing met 37% van de ongevallen te verwachten, mede vanwege de hoge potentie van Obstacle and Pedestrian detection (21%). Op kruisingen is het potentiële effect van de Collision avoidance-systemen maar liefst 65% vanwege de zeer hoge effect van ICA (52%). Met betrekking tot de

Longitudinale systemen dient opgemerkt te worden dat Speed control niet goed te koppelen is aan manoeuvres of toedrachten. In hoofdstuk 5 wordt ingezoomd op de effecten van ADAS op het OVN. Aan de hand van een alternatieve schattingsmethode zal in dat hoofdstuk blijken dat het verwachte effect van Speed control (ISA) aanzienlijk is.



Figuur 4.2: ADAS-categorieën gekoppeld aan Manoeuvres en Toedrachten

4.3 Samenvatting inventarisatie en analyse ADAS

4.3.1 ADAS volgens ADVISORS

Intelligente transportsystemen (ITS) zijn telematicatoepassingen (ICT) binnen het verkeer en vervoer. In alle lagen van het transportsysteem zijn toepassingen mogelijk. De verwachting is dat er steeds meer voertuiggebonden ITS-systemen op de openbare weg gaan komen die de rijtaak van de bestuurder ondersteunen. Deze toepassingen worden aangeduid met de term Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) of met de Nederlandse 'vertaling' geavanceerde rijtaakondersteunende systemen.

Tot op heden worden ADAS-toepassingen vooral verkocht als 'comfort-systemen' en wordt de ontwikkeling minder gestuurd door de maatschappelijke behoeften. De effecten op de verkeersveiligheid zijn moeilijk te schatten, maar de verwachtingen zijn hoog gespannen. Naar de invloed van ADAS is onderzoek gedaan door middel van modelsimulaties, rijsimulators, experimenten op een testbaan of met een testvoertuig en praktijktests op de openbare weg. Over de effecten op het onderliggend wegennet is echter weinig bekend. Bij het bepalen van de veiligheidseffecten zijn drie veiligheidsniveaus te onderscheiden: Het *hoogste niveau* beschouwt de veiligheidseffecten van een systeem in relatie tot verkeersstromen.

Het *middelste niveau* beschouwt de effecten van een systeem op het rijgedrag van bestuurders.

Het *laagste niveau* beschouwt o.a. de betrouwbaarheid en faalkans van het systeem zelf. Dit afstudeeronderzoek beoogt meer inzicht te krijgen in de effecten op het verkeersproces (hoogste veiligheidsniveau) bij toegepassing van bestaande en/of kansrijke toekomstige ADAS op het onderliggend wegennet.

ADA-systemen worden volgens de methodiek van het Europese onderzoeksproject ADVISORS onderverdeeld in pre-crash, crash en post-crash systemen. De belangrijkste 22 pre-crash systemen (subcategorieën) zijn in te delen in acht ADAS-functionaliteiten (categorieën):

1. Navigation (*navigatie*)
2. Longitudinal control (*longitudinale controle*)
3. Lateral control (*laterale controle*)
4. Collision avoidance (*botsvermijding*)
5. General control (*combinatie van longitudinale en laterale controle*)
6. Driver monitoring (*controle van bestuurder*)
7. Vehicle status monitoring (*controle van voertuig*)
8. Perception (*waarneming*)

4.3.2 Koppeling ADAS-functionaliteit met manoeuvres en toedrachten

Per pre-crash system is bekeken welke manoeuvres en hoofdtoedrachten mogelijk kunnen worden voorkomen. Belangrijkste bronnen hierbij zijn de 'short descriptions, characteristics, techniques and technologies' zoals die per systeem zijn opgenomen in ADVISORS (2001). Aan de hand van de bij de manoeuvres en toedrachten behorende aantallen letselongevallen (databestand Zuid-Holland 1995-2000) is het veiligheidseffect geschat. Dit resulteert in een overzicht van het potentiële effect per ADAS-functionaliteit met onderscheid naar ongevallocatie (wegvak of kruising). Geconcludeerd kan worden dat met de gebruikte methode weinig gezegd kan worden over de effecten van Navigation, Driver monitoring en Vehicle status monitoring. Voor Longitudinal control, Lateral control, Collision avoidance en General control zijn de verwachte effecten hoog. Op wegvakken kunnen 20% tot 37% van de ongevallen in Zuid-Holland mogelijk voorkomen worden. Op kruisingen kan Collision avoidance mogelijk 65% van de ongevallen voorkomen. In hoofdstuk 5 wordt voor deze vier ADAS-functionaliteiten plus Perception het potentiële effect op het OVN bepaald.

Hoofdstuk 5 Potentiële veiligheidseffecten ADAS

Dit vijfde hoofdstuk bespreekt het potentiële veiligheidseffect van de ADA-systemen per wegcategorie. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in de effecten op de verkeersveiligheid van het OWN na toepassing van de in hoofdstuk 4 beschreven ADA-systemen. De resultaten van dit hoofdstuk zijn de meest kansrijke ADAS-toepassingen op de wegcategorieën van het OWN. Het potentiële effect op de veiligheid van het OWN wordt uitgedrukt in percentages te besparen ongevallen en in nieuwe waarden voor de in hoofdstuk 3 berekende risico's van letselongevallen.

5.1 Potentieel effect ADAS op wegvak en kruising van het OWN

In hoofdstuk 4 is het maximaal haalbare effect van ADAS per wegvak en kruising bepaald aan de hand van manoeuvres en toedrachten die mogelijk voorkomen kunnen worden. In deze paragraaf worden de potentieel te voorkomen manoeuvres en toedrachten verder uitsplitst naar DV-wegcategorie en kruisingstype (uit hoofdstuk 3). Het potentiële effect van deze ADAS op de Gebiedsontsluitingswegen van het OWN (= GOW-bu en GOW-bi) wordt nu zichtbaar. Ter vergelijking wordt de Stroomweg ook meegenomen (bijlage 5 toont ook alle andere DV-categorieën en kruisingstypen). Onder 'potentieel effect' wordt verstaan het aantal maximaal te voorkomen ongevallen onder ideale omstandigheden waarin sprake is van volledige invoering (100% penetratie), foutloze werking van het apparaat en foutloos gebruik door bestuurder.

5.1.1 Alternatieve schattingsmethode voor ISA

Aangezien snelheidsremmende toepassingen niet goed gekoppeld kunnen worden aan manoeuvres of toedrachten wordt om het effect van ISA te schatten een alternatieve methode gebruikt. In *Veiligheidsconsequenties van ISA* (Oei 2001) wordt een schattingsmethode gebruikt die uitgaat van een bekende normale verdeling van de snelheid per wegtype (waarvan dus tevens bekend is het percentage motorvoertuigen dat de limiet overschrijdt). Integrale toepassing van ISA leidt tot de volgende wijziging van de snelheidsverdeling. Alle voertuigen die zonder ISA sneller dan de limiet gereden zouden hebben, rijden nu met de limietsnelheid. De voertuigen die zich aan de limiet hielden veranderen hun gedrag niet. Hierdoor zakt de gemiddelde snelheid. De relatieve reductie van het aantal verkeersongevallen kan volgens Nilsson (1981) worden geschat door de relatieve snelheidsreductie tot een macht te verheffen. Voor de reductie van het aantal letselongevallen geldt een macht van 3 (zie hoofdstuk 6 en bijlage 6). Tabel 5.1 toont het resultaat voor de SW en GOW.

Tabel 5.1 Potentieel effect ISA op wegvak per DV-categorie (*=ongevallen reductie volgens Oei 2001)

ADA-systeem	DV-categorie		
	1. SW	2. GOW-bu	3. GOW-bi
Speed control (ISA) *	10%	24%	34%
(percentages geven het te voorkomen aandeel van de letselongevallen per wegvakcategorie)			

Het probleem dat rest is dat de snelheidsverdeling op of vlak voor de verschillende kruisingstypes niet bekend is. Er kan voor ISA dus geen onderscheid gemaakt worden naar wegvak of kruising. Op grond hiervan wordt in dit hoofdstuk uitgegaan van een voorzichtige schatting waarbij verondersteld wordt dat het effect van ISA gelijk is op wegvakken en kruisingen.

5.1.2 Potentieel effect ADAS per wegvak-categorie

Uit tabel 5.2 blijkt dat ACC, Platooning en Rear-end CA op de SW een groot potentieel effect hebben. Op de GOW springen deze systemen er echter minder uit. Hier hebben ISA, ACC, Platooning, Rear-end CA en Obstacle / Pedestrian detection een potentieel effect rond de 20%. ISA heeft met 34% op de GOW-bi de hoogste potentie. Bijlage 5 toont het volledige overzicht van de potenties van de ADA-systemen per DV-categorie, wegvak, kruising of totaal.

Tabel 5.2: Potentieel effect ADAS op wegvak per DV-categorie (*=ongevallen reductie ISA volgens Oei 2001)

ADA-systeem op wegvak	1. SW	OWN	
		2. GOW-bu	3. GOW-bi
Longitudinal control			
Speed control (ISA) *	10%	24%	34%
Curve Speed Control	1%		
Advanced Cruise Control (ACC)-	40%	20%	17%
Lateral control.			
Road / lane departure CA	1%	6%	2%
Lane change and merge CA	13%	4%	8%
General control			
Platooning Driving Assistant	50%	28%	22%
Overtake checker	2%		1%
Collision avoidance			
Rear-end CA / Pre-crash sensing	40%	20%	16%
Obstacle / pedestrian detection	12%	26%	23%
Perception			
State of the road surface; low friction warning	4%	6%	6%

(percentages geven het te voorkomen aandeel van de letselongevallen per wegvakcategorie)

5.1.3 Potentieel effect ADAS per type kruising

In tabel 5.3 zijn qua aantal ongevallen de belangrijkste kruisingstypen weer gegeven met de potentiële ongevallenreductie per relevante ADAS. Op het OWN heeft Intersection Collision Avoidance (ICA) het hoogste potentiële effect met waarden van 41 à 54%. Op het kruisingstype 2x2 doen de systemen die kop-staart ongevallen tegen gaan (ACC, Platooning en Rear-end) het goed met een potentie van 19-26%. ISA is in deze beschouwing niet meegenomen..

Tabel 5.3: Potentieel effect ADAS op kruising per DV-categorie.

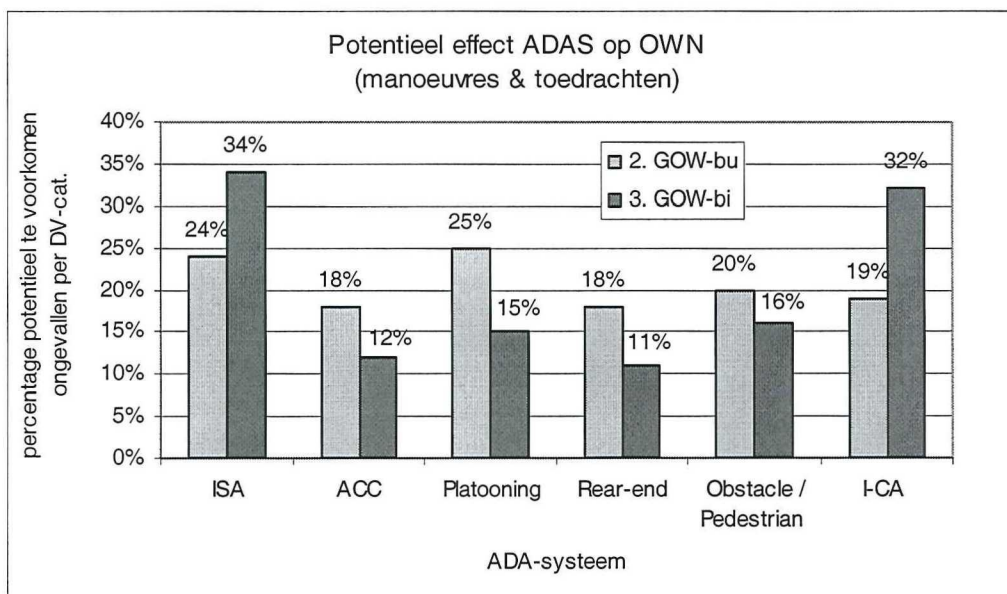
ADA-systeem op kruising	1. SW 1x1	OWN			
		2. GOW-bu 2x2	2x4	3x3	3x5
Longitudinal control					
ACC	15%	19%	10%	11%	7%
Lateral control.					
Road /lane departure	1%	0%	1%	0%	0%
Lane change / merge	13%	2%	1%	1%	1%
General control					
Platooning Assistant	24%	26%	15%	15%	9%
Overtake checker	5%	0%	0%	0%	0%
Collision avoidance					
Rear-end / Pre-crash	15%	19%	10%	11%	7%
Obstacle / pedestrian	8%	10%	10%	14%	12%
Intersection CA		41%	54%	51%	50%
Perception					
State of the road surface; low friction	2%	3%	2%	3%	3%

(percentages geven het te voorkomen aandeel van de letselongevallen per kruisingtype)

5.2 Totaal potentieel veiligheidseffect ADAS op het OWN

5.2.1 Potentieel effect ADAS per DV-categorie

In deze paragraaf zijn wegvakken en kruisingen samengevoegd volgens de in paragraaf 3.1 besproken toedelingsmethode en ontstaat een totaal beeld van het potentiële effect per ADA-systeem (tabel 5.4 in bijlage 5). Op de SW behalen met name de systemen die kop-staart ongevallen tegen gaan (ACC, Platooning en Rear-end) een hoge potentie van 39-50%. Op het OWN doen deze systemen het ook goed, maar de potentie ligt met 11 à 25% wel lager. Een vergelijkbaar potentieel effect hebben ook Obstacle / Pedestrian detection, ISA en ICA. Deze laatste twee springen er uit met meer dan 30% op de GOW-bi. Figuur 5.1 toont de meest kansrijke ADA-systemen voor het OWN. Lateral control en Perception spelen met percentages van 1% tot 4% een minder belangrijke rol. Bij de interpretatie van deze effectschatting dient ter dege rekening gehouden te worden met de beperkingen van de gebruikte methode. De data waarop het potentiële effect van ADAS is gebaseerd, hebben betrekking op wegen in Zuid-Holland die weliswaar de functie van een Gebiedsontsluitingsweg hebben maar nog niet (allemaal) voldoen aan de (sobere) DV-inrichtingseisen (hoofdstuk 3). Het is de verwachting dat op een duurzaam-veilig ingerichte weg het effect van deze kansrijke ADA-systemen lager uitvalt. Een aantal manoeuvres en toedrachten zullen dan uitgesloten zijn (H3, figuur 3.3).

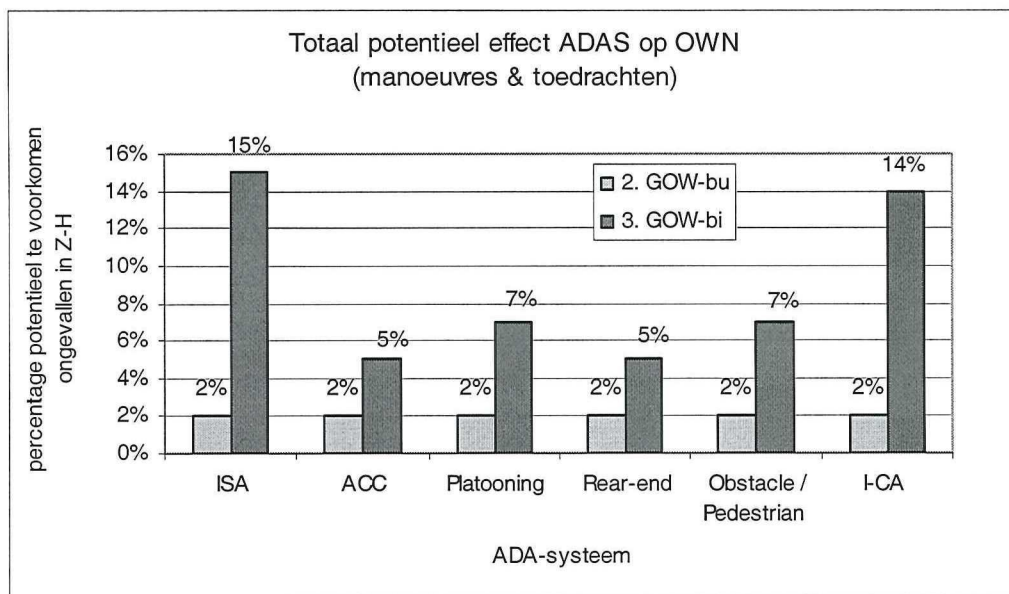


Figuur 5.1: Potentieel effect kansrijke ADAS per DV-categorie (*=reductie ISA volgens Oei 2001)

5.2.2 Potentieel effect ADAS op het OWN t.o.v. het totaal aantal ongevallen in Z-H

Totnogtoe hebben we het potentiële effect per DV-categorie afzonderlijk beschouwd. Relateren we deze cijfers (uit tabel 5.4 bijlage 5) nu aan het aantal ongevallen per DV-categorie dan ontstaat een ander beeld: het potentiële effect van de ADA-systemen uitgedrukt als percentage van het totaal aantal ongevallen in Zuid-Holland (tabel 5.5 in bijlage 5). Figuur 5.2 toont dit potentiële effect voor de meest kansrijke ADA-systemen op het OWN. Deze figuur geeft een indruk welk aandeel het OWN voor rekening neemt bij de vermindering van het aantal ongevallen (op alle wegen samen) na toepassing van elk ADA-systeem.

Uit figuur 5.2 (en tabel 5.5 bijlage 5) blijkt dat alle systemen uiteindelijk de grootste absolute ongevallenreductie kunnen behalen op de Gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom (GOW-bi). Op het OWN zouden ISA resp. ICA potentieel 18% resp. 16% van het totaal aantal ongevallen kunnen voorkomen. Daarnaast kunnen hier zowel ACC, Platooning, Rear-end CA als Obstacle / Pedestrian detection bijdragen aan een potentiële ongevalreductie van 7 à 9%.



Figuur 5.2: Potentieel effect kansrijke ADAS t.o.v. het totaal aantal ongevallen in Zuid-Holland

ISA is en wordt – zoals hoofdstuk 7 beschrijft – reeds op grote schaal in de praktijk getest en kan vanaf 2013 op basis van vrijwilligheid ingevoerd worden (figuur 5.3). Enige vorm van ICA is op korte of middellange termijn nog niet operationeel op de openbare weg (ADVISORS 2001, H3 p82). Op middellange termijn lijkt ISA de grootste bijdrage te kunnen leveren, van alle ADA-systemen, aan het verbeteren van de verkeersveiligheid op het OVN.

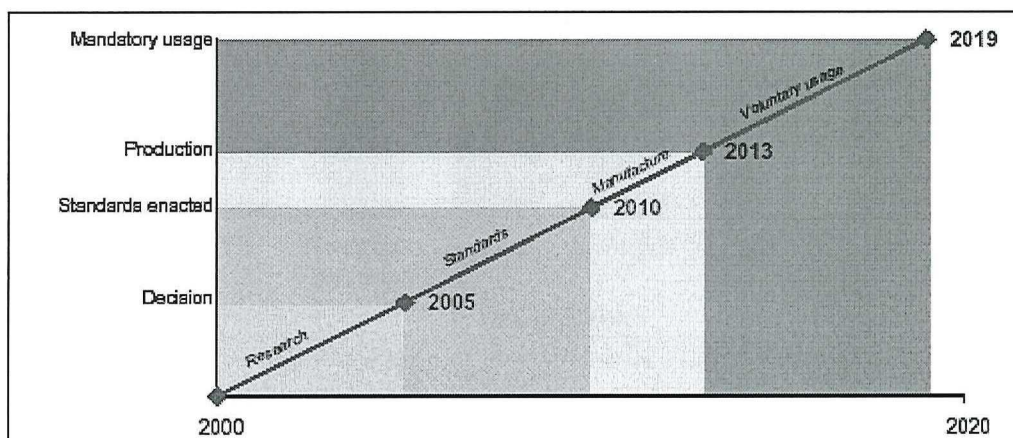


Figure 3: A path to full implementation

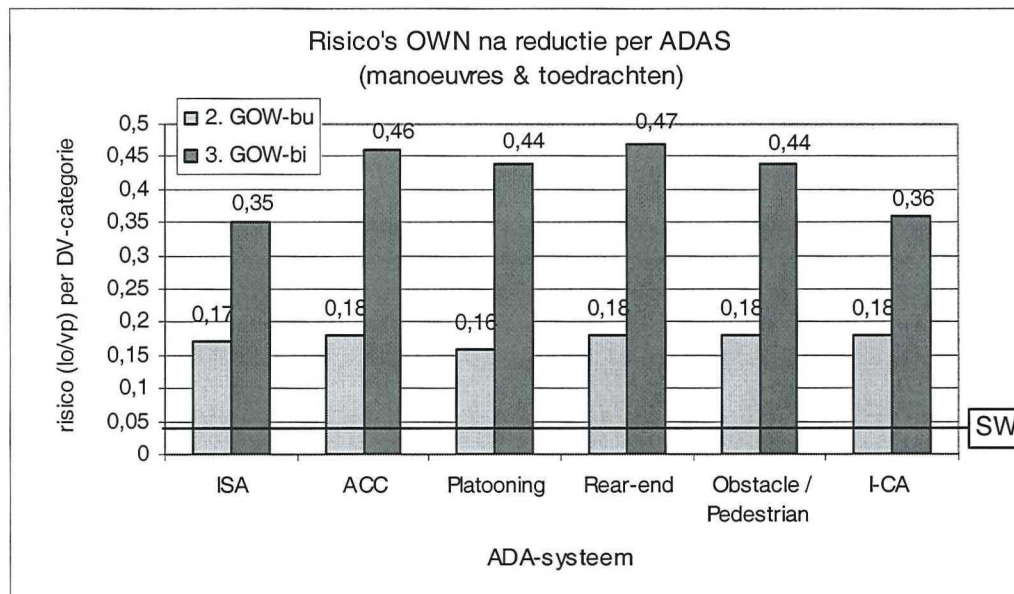
Figure 3 shows the major prerequisites and stages to implementing mandatory EVSC. The stages and decision points are:

- 2000 – 2005 Further research, including larger-scale trials
- 2005 Decision to move forward towards full implementation
- 2005 – 2010 Preparation and enactment of standards
- 2010 Promulgation of standards
- 2010 – 2013 Preparations for production on new vehicles
- 2013 Mandatory fitment on new vehicles
- 2013 – 2019 Voluntary usage
- 2019 Requirement for mandatory usage

Figuur 5.3: Implementatietraject ISA (bron: Carsten 2000b)

5.2.3 Nieuwe risico's op OWN na introductie ADAS

De potentiële reductiepercentages per DV-categorie (figuur 5.1 en tabel 5.4 bijlage 5) worden toegepast in figuur 5.4 (en tabel 5.6 bijlage 5) op de in paragraaf 3.3.1 berekende risicocijfers. In Zuid-Holland was het risico zonder ADAS op de GOW-bu 0,22 letselongevallen per miljoen motorvoertuigkilometer per jaar en op de GOW-bi 0,52 per mln mvtkm/j. Het doel van Duurzaam Veilig is dat de risico's op alle wegcategorieën op den duur het risico van de Stroomweg (SW) benaderen. Dit risico bedroeg 0,04 per mln mvtkm/j en is aangegeven in de figuur met een lijn. Naast infrastructurele maatregelen, educatie, mediacampagnes en handhaving zou ook ITS hieraan moeten bijdragen. De risico's in figuur 5.4 (en tabel 5.6 bijlage 5) laten zien dat nog ISA nog kansrijke ADA-systemen als Platooning of ICA die pas op lange termijn beschikbaar komen, dat alleen voor elkaar kunnen krijgen.



Figuur 5.4 Risico's OWN na reductie per ADA-systeem.

Het verdient aanbeveling in een vervolgstudie het effect van combinaties van systemen verder te onderzoeken. De verwachting is dat in de toekomst steeds meer ADAS-functionaliteiten gecombineerd zullen worden in één integraal systeem (ADVISORS 2001). Systemen die hier het eerst voor in aanmerking komen zijn met name Navigatie, ISA, ACC en LDWA. Deze systemen zijn nu al volop in gebruik of worden op de openbare weg getest. Volgens het persbericht van TeleAtlas (2003) is de eerste combinatie van Navigatie en een vorm van vrijwillige ISA een feit nu hun in-car routenavigatiesysteem kan beschikken over alle snelheidslimieten op de West-Europese autosnelwegen. De display van het navigatiesysteem toont deze limieten.

5.3 Samenvatting Potentiële veiligheidseffecten ADAS

5.3.1 Potentieel effect ADAS op wegvak en kruising van het OWN

In dit hoofdstuk zijn de potentieel door ADAS te voorkomen manoeuvres en toedrachten uitsplitst naar DV-wegcategorie en kruisingstype. Het potentiële effect van deze ADAS op de Gebiedsontsluitingswegen van het OWN (= GOW-bu en GOW-bi) wordt nu zichtbaar. Onder 'potentieel effect' wordt verstaan het aantal maximaal te voorkomen ongevallen onder ideale omstandigheden waarin sprake is van volledige invoering (100% penetratie), foutloze werking van het apparaat en foutloos gebruik door bestuurder.

Omdat het effect van Speed control met de in het vorige hoofdstuk beschreven methode niet goed te voorspellen is wordt hier een alternatieve schattingsmethode geïntroduceerd. Deze methode geeft de reductie van het aantal ongevallen nadat de gemiddelde snelheid wordt verlaagd na introductie van ISA. Op wegvakken van het OWN blijken ISA, ACC, Platooning, Rear-end CA en Obstacle / Pedestrian detection een potentieel effect rond de 20% te hebben. ISA heeft met 34% op het wegvak van de GOW-bi de hoogste potentie. Op kruisingen heeft Intersection Collision Avoidance (ICA) het hoogste potentiële effect met waarden van 41 à 54%.

5.3.2 Totaal potentieel veiligheidseffect ADAS op het OWN

Nadat de effecten op wegvakken en kruisingen samengevoegd zijn ontstaat een totaal beeld van het potentiële effect van ADA-systemen per DV-categorie. Op het OWN hebben ISA, ACC, Platooning, Rear-end CA, Obstacle / Pedestrian detection en ICA een hoog potentieel effect van 11 à 25%. ISA en ICA springen er uit met meer dan 30% op de GOW-bi.

Wordt het potentiële effect van de ADA-systemen uitgedrukt als percentage van het totaal aantal ongevallen in Zuid-Holland dan wordt duidelijk welk aandeel het OWN voor rekening neemt na toepassing van elk ADA-systeem. Op het OWN zouden ISA resp. ICA potentieel 18% resp. 16% van het totaal aantal ongevallen kunnen voorkomen. ICA is voorlopig nog niet operationeel, terwijl ISA reeds over 10 jaar ingevoerd kan worden. Geconcludeerd wordt dat op middellange termijn ISA de grootste bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de verkeersveiligheid op het OWN.

De potentiële reductiepercentages per DV-categorie zijn toegepast op de risicocijfers in Zuid-Holland. Het doel van Duurzaam Veilig is dat de risico's op alle wegcategorieën op den duur het risico van de Stroomweg benaderen. Het blijkt echter dat nog ISA nog andere kansrijke ADA-systemen als Platooning of ICA dat alleen voor elkaar kunnen krijgen.

Hoofdstuk 6 Snelheidsbeheersing met ISA

Dit zesde hoofdstuk gaat dieper in op ISA. In de eerste paragraaf wordt omschreven wat er onder ISA wordt verstaan. In paragraaf 2 worden verschillende ISA-systemen ingedeeld aan de hand van functionele en technische kenmerken. Paragraaf 3 brengt de mogelijke primaire en secundaire effecten van ISA op het verkeersproces in kaart. In paragraaf 4 wordt tenslotte de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid behandeld aan de hand van een theoretisch en een empirisch model. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in wat ISA is, hoe het werkt, welke varianten er zijn en wat de effecten zijn. De resultaten van dit hoofdstuk zijn een overzicht van de kenmerken van ISA, een inventarisatie van de mogelijke effecten en een formule voor de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid.

6.1 Inleiding ISA

In het vorige hoofdstuk is de verwachting uitgesproken dat van de diverse ADA-systemen ISA de grootste potentie heeft bij toepassing op het OWN. Dit hoofdstuk gaat dieper in op ISA, acroniem van Intelligente SnelheidsAanpassing c.q. Intelligent Speed Adaptation. Met het doel de snelheid te beheersen kennen vrachtauto's en bussen al jaren een statische snelheidsbegrenzer, die wettelijk verplicht is. Voor personenauto's en bestelbusjes is het voorlopig nog niet zover. Toch zijn auto's als de Renault Laguna 2 en Citroën C5 tegenwoordig voorzien van een instelbare 'snelheidsverklikker' ook wel 'speed checker' genoemd. Deze rudimentaire – niet intelligente – vorm van ISA geeft een geluidssignaal als de door de bestuurder ingestelde snelheid wordt overschreden. In hoofdstuk 4 worden ADA-systemen ingedeeld in categorieën en subcategorieën volgens ADVISORS (2001). ISA behoort tot de categorie *Longitudinal Control* en subcategorie *Speed Control*. In de literatuur bestaan vele verschillende benamingen en interpretaties voor een dergelijk systeem. Naast de hierboven gebruikte benaming wordt het acroniem ISA ook wel vertaald met *Instelbare of Intelligente SnelheidsAssistent*. In Engelstalige literatuur gebruikt men naast *Intelligent Speed Adaptation* ook termen als *External Vehicle Speed Control* (EVSC) en *Variable Speed Limiter* (VSL). De namen *Autonomous Speed Assistant* (ASA) en *External Speed Assistant* (ESA) worden ook gebruikt, maar zijn bedoeld voor meer specifieke toepassingen waarin ISA wordt gecombineerd met andere ADA-systemen (Bastiaensen 2000).

Definitie ISA

Intelligente SnelheidsAanpassing is – zoals de naam aangeeft – een systeem dat de bestuurder ondersteunt bij het aanpassen van zijn of haar snelheid. Onder ISA verstaan we alle systemen in de auto die bij een (dreigende) overschrijding van de snelheidslimiet hetzij informatie hierover doorgeven aan de bestuurder, hetzij de snelheid van het voertuig daadwerkelijk begrenzen tot de limiet.

Een ISA-systeem heeft een drietal basis functies:

1. Meten van de rijsnelheid van het voertuig.
2. Bepalen van de ter plekke geldende snelheidslimiet.
3. Ondersteunen van de bestuurder bij het aanpassen van de rijsnelheid aan de limiet.

Het ISA-systeem meet continu de snelheid van het voertuig en vergelijkt deze met de op dat stuk weg van toepassing zijnde maximumsnelheid. Deze is meestal gelijk aan de wettelijke snelheidslimiet, maar kan ook een adviessnelheid zijn. Op het moment dat er te hard dreigt te worden gereden, neemt het systeem maatregelen om de snelheid aan te passen.

Algemeen wordt verwacht dat de positieve effecten van ISA groot zullen zijn. Naast de te verwachten effecten op het gebied van veiligheid, doorstroming en milieu-uitstoot verhoogt het systeem het comfort van de bestuurder. Deze hoeft minder op de snelheidslimiet te letten en snelheidsboetes blijven uit. Uit onderzoek komt naar voren dat automobilisten ISA als een aantrekkelijk alternatief zien voor de als irritant ervaren snelheidsdrempels en flitspalen. Tevens is van deze snelheidsremmende maatregelen bekend dat de werking slechts beperkt is tot enkele tientallen meters ervoor en erna. Ook uit het oogpunt van wegbeheer en handhaving is ISA een aantrekkelijk alternatief. Er kunnen kosten bespaard worden op aanleg en onderhoud van drempels en flitspalen en op inzet van politiepersoneel voor snelheidscontroles. Op het HWN kan trajectcontrole (automatisch via nummerbordherkenning) gezien worden als tegenhanger van ISA. Op het OWN is

trajectcontrole echter beperkt toepasbaar i.v.m. discontinuïteiten en blijft ISA als enig alternatief over.

6.2 Indeling ISA

ISA-systemen zijn er in vele soorten, daarom is het gewenst om aan de hand van een aantal kenmerken een ISA-variant eenduidig te kunnen typeren. In de literatuur wordt vaak een onderverdeling gemaakt naar het soort 'feedback' van het systeem. Oei (2001) maakt een indeling naar 'open', 'half-open' en 'gesloten' systemen. Deze typering wordt in de meeste Nederlandse en Belgische literatuur overgenomen. Het verdient aanbeveling om bij ADA-systemen onderscheid te maken of de 'bestuurder in de lus' (in-the-loop) is opgenomen of 'buiten de lus' (off-the-loop) valt (Hoedemaker 1999). Internationaal wordt voor de feedback van ADA-systemen vaak een I/A/C-indeling gebruikt. Deze indeling sluit aan bij de indeling van Oei:

- 'open' / **Informatief**: tonen van adviessnelheid en/of waarschuwen bij overschrijding.
- 'half-open' / **Actieve** ondersteuning: actieve terugkoppeling bijvoorbeeld via gaspedaal.
- 'gesloten' / **Controlerend**: adviessnelheid kan niet overschreden worden.

Nadeel van deze indeling is dat I en C overlappen met A. Daarnaast is bijvoorbeeld een *controlerend* systeem dat door de bestuurder in- en uitgeschakeld kan worden niet eenduidig te typeren. Minderhoud (1999) maakt hiertoe binnen het *controlerende* systeem onderscheid tussen 'overrulable' en 'non-overrulable'. De indeling volgens Minderhoud kent naast *controlerende* systemen tevens een *informerend* en een *waarschuwend* systeem. De figuren 6.1 en 6.2 met de controlestructuur van *informing, warning, overrulable en non-overrulable driver support systems* zijn overgenomen uit Minderhoud (1999).

Een combinatie van de indeling volgens Minderhoud met de indeling die gebruikt wordt in het EVSC-project van de universiteit van Leeds (UK) ondervangt de eerder genoemde problemen. ISA-systemen worden hier getypeerd aan de hand van drie functionele kenmerken. Aanvullend kunnen de systemen getypeerd worden door drie technische kenmerken.

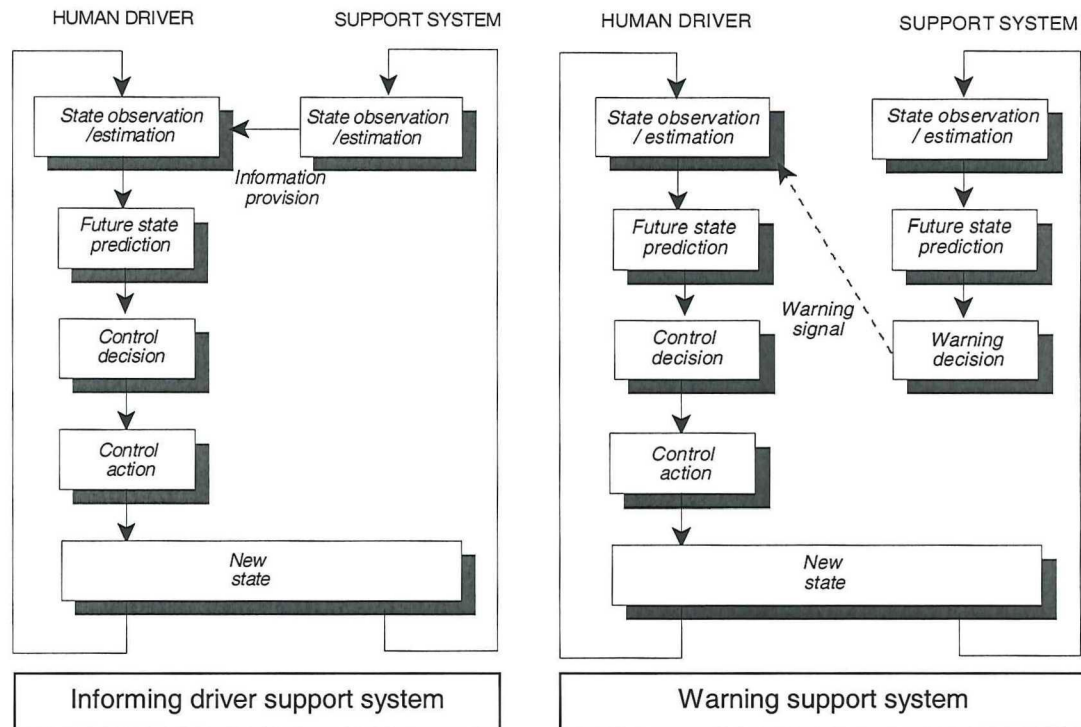
Functionele kenmerken:	Technische kenmerken:
1. mate van ondersteuning	4. limietbepaling
2. mate van vrijwilligheid	5. snelheidsbegrenzing
3. type snelheidslimiet	6. interface

6.2.1. Mate van ondersteuning

Het belangrijkste functionele kenmerk is de mate waarin het systeem de rijtaak – in dit geval de snelheidskeuze – van de bestuurder ondersteund.

- *Passief ondersteunend*: De bestuurder wordt op de hoogte gesteld van zijn actuele rijsnelheid en de ter plekke geldende snelheidslimiet. De bestuurder bepaalt vervolgens zelf of de rijsnelheid aangepast wordt als de limiet wordt overschreden. Systemen die de rijtaak passief ondersteunen zijn verder onder te verdelen in *Informerende* en *Waarschuwend* varianten.
 - *Informerend*: weergeven van de geldende limiet en waarschuwen van de bestuurder bij wijzigingen in die limiet.
 - *Waarschuwend*: waarschuwen van de bestuurder bij overschrijding van de limiet d.m.v. een visueel, akoestisch of haptisch signaal. Er wordt doorgaans geen informatie over de geldende limiet in het voertuig getoond.

In Zweedse proefprojecten (hoofdstuk 7) zijn naast o.a. *waarschuwend* systemen ook *informerende* ISA-systemen getest die tevens waarschuwen bij overschrijding van de limiet (informerend-plus). Oei (2001) rekent zowel *Informerend* als *Waarschuwend* tot de zogenaamde 'open'-variant. In het EVSC-project typeert men dit met de term *Advisory*. Figuur 6.1 toont de controleschema's van *informing & warning driver support systems* volgens Minderhoud.



Figuur 6.1: Informing & Warning driver support systems volgens Minderhoud (1999).

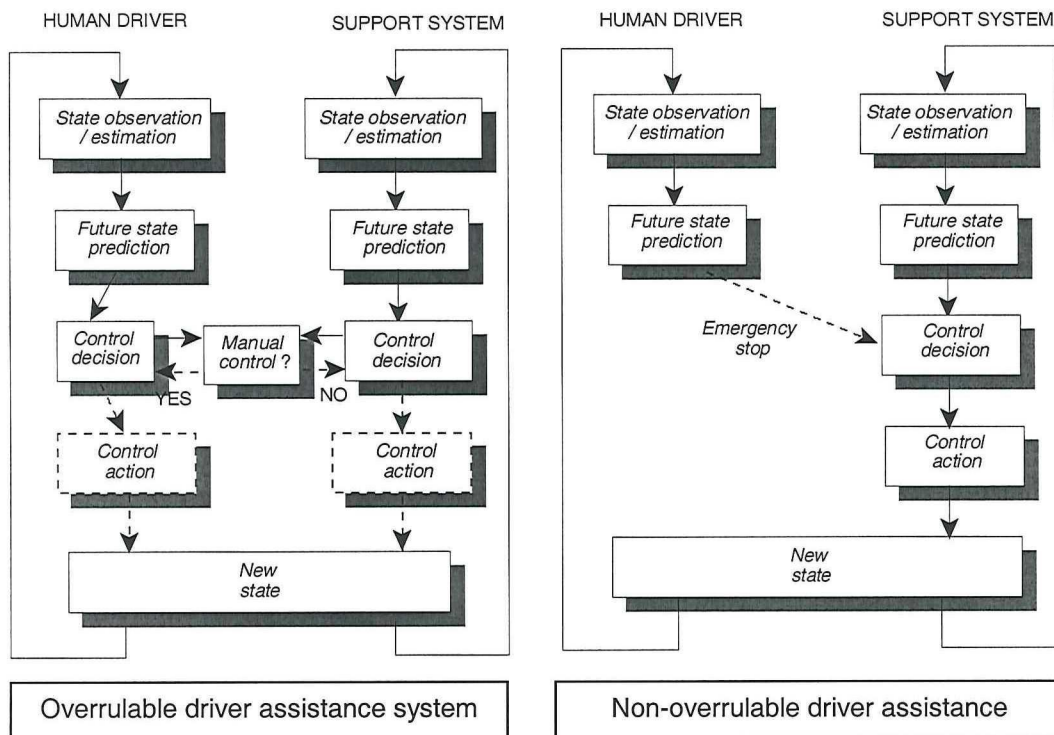
- **Actief ondersteunend:** Bij overschrijding van de limiet geeft het gaspedaal meer tegendruk naar mate de limietoverschrijding groter wordt of langer duurt. Als de bestuurder geen extra druk uitoefent met de voet, dan daalt de rijsnelheid. Doet hij dat wel dan kan de limiet overschreden worden (kick-down). De rijtaak wordt actief ondersteund. Oei (2001) typeert een gaspedaal met tegendruk met de term 'half-open'-variant. Volgens de indeling van Minderhoud zou een dergelijk systeem getypeerd kunnen worden als een combinatie van *warning* en *overrulable*.
- **Controlerend:** Het ISA-systeem grijpt daadwerkelijk in. Een 'dood' gaspedaal eventueel gecombineerd met actief remmen maakt het de bestuurder onmogelijk de snelheidslimiet te overschrijden. Oei (2001) noemt dit de 'gesloten'-variant.

6.2.2. Mate van vrijwilligheid

Het tweede functionele kenmerk is de mate van vrijwilligheid. De standaard varianten zijn:

- **Vrijwillig (Voluntary):** de bestuurder kan zelf het ISA-systeem aan- en uitzetten.
- **Dwingend (Mandatory):** het ISA-systeem is continu ingeschakeld. Minderhoud typeert een dergelijk systeem als 'non-overrulable'.
- **Gelimiteerd:** een extra (sub)variant tussen vrijwillig en dwingend is een dwingend systeem dat beperkte overschrijdingen toestaat, bijvoorbeeld tijdens inhalen. De overschrijdingen zouden gelimiteerd moeten zijn in aantal per tijdsperiode of frequentie per weglengte.

Vaak is een ISA-voertuig voorzien van een 'noodknop' waarmee het systeem uitgeschakeld kan worden ('overrulable'). Het gemak waarmee dit kan en de sanctie (boete) die op het gebruik staat bepaalt mede of het systeem getypeerd wordt als vrijwillig, gelimiteerd of dwingend. Figuur 6.2 toont de controleschema's van *overrulable* & *non-overrulable driver assistance systems* volgens Minderhoud.



Figuur 6.2: Overrutable & Non-overrutable driver assistance systems volgens Minderhoud (1999).

6.2.3. Type snelheidslimiet

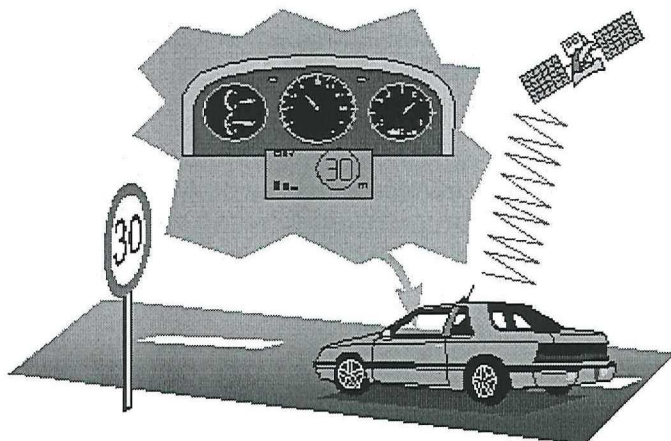
Het derde functionele kenmerk ter onderscheiding van ISA-systemen is het soort snelheidslimiet waarop de maximale rijnsnelheid van het voertuig begrensd wordt.

- *Statische* limiet: het systeem kent de per weg(vak) geldende (wettelijke) snelheidslimiet.
- *Variabele* limiet: 'lager waar nodig'. Aanvullend worden lagere limieten (adviesnelheden) ingesteld variërend in de ruimte, bijvoorbeeld in de buurt van voetgangeroversteekplaatsen of scherpe bochten.
- *Dynamische* limiet: 'lager wanneer nodig'. Aanvullend worden lagere limieten doorgegeven, variërend in ruimte en tijd afhankelijk van netwerk- en weersomstandigheden (ongevallen, in- of uitgaan van scholen, mist, gladheid).

6.2.4. Limietbepaling

Het vierde kenmerk is de techniek waarmee de geldende snelheidslimiet bepaald wordt.

- *Voertuiggebonden*: Een *Geografisch Informatie Systeem* (GIS) in combinatie met een plaatsbepalingsysteem (figuur 6.3).



Figuur 6.3 ISA-systeem bepaalt geldende snelheidslimiet m.b.v. GPS en GIS (uit: Carsten 2000c)

- Het GIS bestaat uit een digitale wegenkaart, bijvoorbeeld op Cd-rom, waarin elk wegvak is voorzien van de geldende snelheidslimiet. Via GSM of radiosignaal kan de digitale kaart aangevuld worden met wijzigingen in de infrastructuur (updates) of dynamische snelheidsinformatie.
- Het plaatsbepalingsysteem maakt gebruik van (*differential*) *Global Positioning System* (dGPS) dat de positie van het voertuig op de openbare weg bepaalt aan de hand van signalen van satellieten in een baan om de aarde. Theoretisch gebeurt dit met een nauwkeurigheid van ca. 1 m ten opzichte van het GIS. Sommige systemen maken gebruik van een gyroscopisch kompas waarmee de rijrichting van het voertuig met grotere betrouwbaarheid bepaald kan worden. Routenavigatiesystemen maken gebruik van de hierboven beschreven technieken. Met name in het duurdere segment en in bedrijfswagen worden navigatiesystemen reeds veelvuldig ingebouwd en zijn inmiddels een beproefde techniek. Uit de praktijktesten met ISA blijkt de plaatsbepaling als gevolg van storingen soms minder nauwkeurig is. De Europese tegenhanger van GPS, Galileo (gepland voor 2008) zal naar verwachting nauwkeuriger zijn.
- *Infrastructuurgebonden*: Informatieverstrekking ter plaatse aan de kant van de weg.
 - *Bakens* (transmitters) langs de weg zenden een radiosignaal uit naar langsrijdende voertuigen. Het ISA-systeem pikt dit signaal op via ontvangers (transponders) en vertaalt het naar een snelheidslimiet. Voordeel van deze techniek is dat ad hoc, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden of ongevallen, er een mobiel baken geplaatst kan worden of dat een baken gekoppeld kan worden aan bestaande dynamische snelheidsadviesing via Variable Message Sign (VMS) op het HWN.
 - Verkeersborden langs de weg kunnen via beeldherkenning (videosensing) gelezen worden door 'het voertuig'. Voordeel van deze techniek is dat gebruik gemaakt wordt van de bestaande infrastructuur. De techniek van videosensing vanuit het voertuig staat nog in de kinderschoenen en is nog niet getest in een ISA-project.
- *Handmatige instelling*: De bestuurder kan zelf handmatig een maximale snelheid invoeren. Het ISA-systeem wordt in dit geval gebruikt als een soort cruisecontrol of beveiliging tegen snelheidsboetes. Nieuwe auto's van o.a. Renault en Citroën zijn voorzien van een dergelijk systeem. In het ISA-project van de gemeente Gent (België) heeft het ISA-systeem als extra een handmatige instelling, die gebruikt kan worden in gebieden die buiten de digitale kaart liggen.

6.2.5. Snelheidsbegrenzing

Het vijfde kenmerk is de techniek waarmee de bestuurder ondersteund wordt de snelheid aan te passen aan de geldende limiet.

- *Actief gaspedaal*. Bij *actieve ondersteuning* is deze techniek aan de orde gekomen. Het gaspedaal geeft bij overschrijding van de limiet meer tegendruk naar mate de limietoverschrijding groter wordt of langer duurt. Deze techniek wordt actief of intelligent gaspedaal (active throttle/accelerator) genoemd. Een servomotor onder het pedaal regelt de benodigde tegendruk.
- *'Dood' gaspedaal*: De meest gebruikte techniek bij *controlerende* systemen is het afknijpen van de brandstoftoevoer dat wordt aangeduid met de term motormanagement (MM). Sommige systemen hebben aanvullend de mogelijkheid om – indien nodig – actief bij te remmen. Een dergelijk systeem werkt als volgt:
 - De vertraging wordt ingang gezet door het afknijpen van de brandstoftoevoer. De automatische versnelling schakelt desgewenst terug.
 - Als de snelheid te hoog blijft kan het systeem eventueel afremmen met lichte remdruk. Met name in geaccidenteerd terrein is dit noodzakelijk.
 Om tijdelijke overtreding van de (wettelijke) snelheidslimiet te voorkomen is het gewenst dat het systeem de vertraging al inzet voordat de zone met de lagere limiet wordt ingereken. Het systeem berekent de benodigde 'remweg'.

6.2.6. Interface

Het zesde kenmerk is de techniek waarmee gecommuniceerd wordt tussen het ISA-systeem en de bestuurder, de Human Machine Interface (HMI).

- *Visueel*: De HMI kan bestaan uit een scherm (display) op het dashboard of erin geïntegreerd dat zowel de actuele rijnsnelheid toont als de geldende snelheidslimiet. Een lichtsignaal waarschuwt bij overschrijding van de limiet, bijvoorbeeld een rood (knipperend) lampje.
- *Akoestisch*: er klinkt een geluidssignaal bij elke limietwijziging en weer een ander geluid bij overschrijding van de limiet. Ook kan gedacht worden aan een computerstem die de bestuurder van informatie voorziet.
- *Haptisch*: 'de tastzin betreffende' signalen, zoals trillingen in het gaspedaal, het stuur of de stoel (bij passieve ondersteuning van de rijtaak). Vaak wordt een gaspedaal met tegendruk (bij actieve ondersteuning) ook getypeerd als een haptische interface. Het gaat hier echter om een meer dwingende vorm dan louter 'de tastzin betreffend'.

Vaak wordt een combinatie van twee of meer van bovengenoemde technieken gebruikt. In de toekomst zullen deze steeds meer geïntegreerd worden met andere HMI's in het voertuig. Omdat met name visuele systemen de aandacht afleiden van de weg, wordt geëxperimenteerd met nieuwe technieken. Een voorbeeld hiervan is de head-up display (HUD), die de visuele informatie projecteert op de voorruit in het blikveld van de bestuurder.

Hoofdstuk 7 beschrijft een aantal projecten waarin ISA getest is. De geteste ISA-systemen worden getypeerd aan de hand van de hierboven beschreven kenmerken. Ongeacht het type systeem beoogt ISA de verkeersveiligheid te verbeteren middels het voorkomen van te hoge en onaangepaste snelheden. Andere verkeerskundige effecten spelen ook een rol. Naast een veiligheidseffect kan er een capaciteitseffect zijn. De volgende paragraaf (§ 6.3) inventariseert de mogelijke effecten van ISA.

6.3 Inventarisatie mogelijke effecten ISA

De introductie van ISA op de openbare weg zal waarschijnlijk geleidelijk verlopen. De lagere snelheid van de ISA-voertuigen zal effect hebben op de rest van het verkeer. Er ontstaat een wisselwerking tussen de langzame ISA-voertuigen en de gewone, onbegrensde voertuigen. Bij lage penetratie graden in het begin zullen er andere effecten optreden dan bij hoge penetratie in een later stadium. De effecten van ISA zijn onder te verdelen in primaire en secundaire effecten.

6.3.1 Primair effect ISA

Het verwachte snelheidseffect van ISA kan onderverdeeld worden in drie deeleffecten.

1. *Individueel voertuig-effect*: Verlaging van de gemiddelde snelheid van een individueel ISA-voertuig. Dit effect doet zich vooral voor bij bestuurders die in onbegrensde toestand de limiet zouden hebben overschreden. Ook is het effect afhankelijk van het type weg en omstandigheden.
2. *Ander voertuig-effect*: Verlaging van de gemiddelde snelheid van andere voertuigen. Dit effect neemt toe bij toenemende penetratie met ISA-voertuigen, maar ook neemt de (snelheids)beïnvloeding van het andere verkeer toe door deze ISA-voertuigen.
3. *Variatie-effect*: de spreiding (variantie) in de snelheidsverdeling van de voertuigen verandert. Bij een lagere spreiding kan een rustiger, homogener verkeersbeeld ontstaan. In alle drie de gevallen zal dit leiden tot een afname van de kans op ongevallen en de ernst ervan.

6.3.2 Secundaire effecten ISA

Uit diverse studies komt naast het snelheidseffect een aantal andere verkeerskundige en psychologische effecten van ISA naar voren (bron: Perdok 2001). Hieronder volgt een korte opsomming.

Algemene verkeerskundige effecten:

- *Inhalen*: meer bij lage penetratie en minder bij hoge?
- *Reistijd*: een lagere gemiddelde snelheid kan een langere reistijd betekenen (Värhelyi 1998).

Verkeerskundige effecten als gevolg van verandering in rijgedrag:

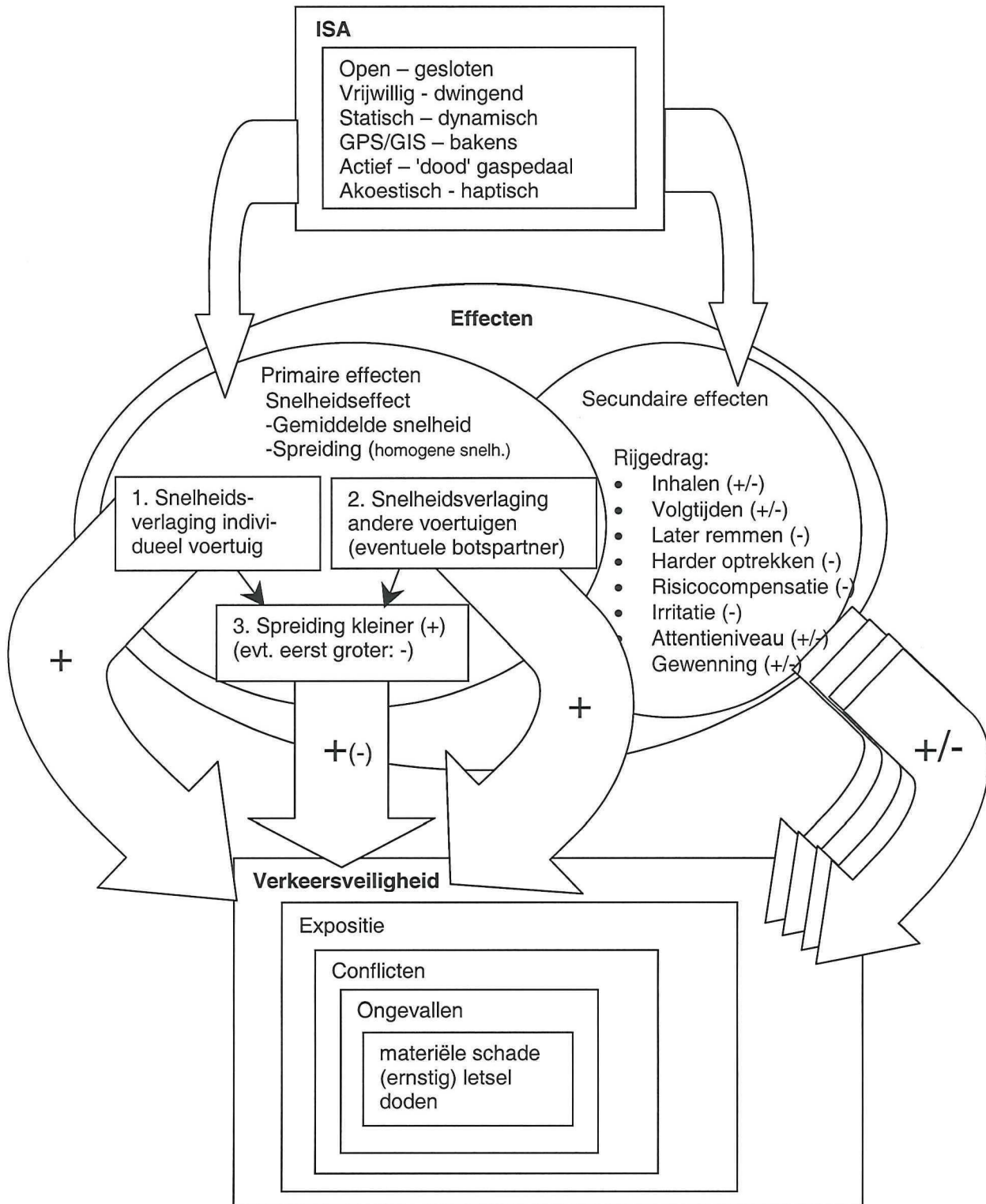
- *Volgtijden*: kortere volgtijden in geïnstrumenteerde auto's in studie van (Värhelyi 1998).
- *TTC*: kleinere TTC in rijnsimulator studie van Comte (2000).
- *De-/acceleratie*: Later remmen en sneller optrekken: rijnsimulator-onderzoek Leeds University (1996) en Värhelyi (1998).

- Compensatie: meer tegen de limiet aan rijden dan voorheen of buiten ISA-gebied harder rijden (Leeds University, 1996).

Psychologische effecten die kunnen leiden tot veranderingen in (rij)gedrag:

- Irritatie/frustratie: irritatie van niet begrensde bestuurders en frustratie van begrensde bestuurders als snelheid niet verhoogd kan worden (Värhelyi 1998 en Comte 2000).
- Attentieniveau/waakzaamheid: ook bij lage snelheden moet men opletten
- Gewenning: bestuurders raken vertrouwd met het systeem en gewend aan het rijden met begrensde snelheden.

In dit rapport wordt niet verder ingegaan op de psychologische effecten. Figuur 6.4 toont schematisch het effect van ISA op de verkeersveiligheid. Paragraaf 6.4 bespreekt het effect van snelheidverlaging op verkeersveiligheid.



Figuur 6.4 Schematisch overzicht effecten van ISA op de verkeersveiligheid

6.4 Effect van snelheid op verkeersveiligheid

6.4.1 Inleiding

Alvorens dieper in te gaan het onderzoek dat gedaan is naar de effecten van ISA, behandelt deze paragraaf de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid. Rijsnelheden blijken een zeer belangrijke factor te zijn bij het ontstaan van ongevallen en tevens een grote invloed te hebben op de ernst van de afloop. Omdat de huidige snelheidslimieten op massale schaal overtreden worden is snelheidsbeheersing een centraal thema in het verkeersveiligheidsbeleid van de overheid. Bij alle drie de doelstellingen van het NVVP speelt snelheid een rol. ISA kan naast een bijdrage aan de verkeersveiligheid wellicht ook een rol spelen bij de andere twee doelstellingen:

1. bereikbaarheid: doorstroming, trajectnsnelheid
2. veiligheid: gemiddelde snelheid en spreiding
3. leefbaarheid: lawaai en uitstoot

In het huidige wegverkeer is snelheid een van de kernvraagstukken van het veiligheidsprobleem. Uit verschillende internationale studies blijkt dat snelheid een rol speelt bij 20-35% van de ongevallen (Wegman 2001). In de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid spelen zowel menselijke vaardigheden als fysische wetmatigheden een rol. Hoe hoger de snelheid hoe korter de tijd die een bestuurder heeft om waar te nemen, te verwerken, te beslissen en te handelen in conflictsituaties. Tevens komt er bij hogere snelheden meer informatie af op de bestuurder, waardoor de taakbelasting groter wordt. Hoe groter de taakbelasting, des te groter de kans op fouten. De wetten uit de natuurkunde bepalen de relatie tussen de botssnelheid en de ernst van de afloop: hoe hoger de botssnelheid, des te erger de afloop. Kort gezegd geven hogere rijsnelheden minder tijd een botsing te voorkomen en bovendien leiden hogere botssnelheden tot ernstiger letsel. Bij een botsing met 30 km/uur tussen een voetganger en een personenauto overleeft 95% van de voetgangers, bij een snelheid van 50 km/uur is dat nog maar 55% en bij 65 km/uur overleeft slechts 15%. Volgens de Duurzaam-Veilig-visie dienen zodanige omstandigheden in het wegverkeer te worden gecreëerd dat voertuigen en onbeschermden weggebruikers elkaar niet kunnen ontmoeten bij snelheden hoger dan 30 km/uur, teneinde ernstig letsel te voorkomen (Wegman 2001).

6.4.2 Theoretisch model relatie snelheid en veiligheid

Voor drie typen ongevallen kan een theoretisch verband gelegd worden tussen gemiddelde snelheid en spreiding enerzijds en het ontstaan van een potentieel conflict, het werkelijk botsen en het fataal aflopen van een botsing anderzijds (Koornstra 1996). Hierbij wordt verondersteld dat zowel het gemiddelde als de spreiding van de snelheden van de voertuigen die in conflict komen, proportioneel zijn aan de gemiddelde snelheid en spreiding van alle voertuigen. Overige condities, zoals massa(-verschillen), blijven buiten beschouwing.

-Kop-staart

Potentiële conflicten met verkeer in dezelfde richting (rembewegingen) ontstaan als gevolg van ongelijke snelheden. Het aantal potentiële conflicten neemt proportioneel toe met de spreiding van de snelheid. Gegeven een potentieel kop-staart conflict is het ontstaan van een botsing (het niet tijdig kunnen voorkomen van een echt conflict) ook afhankelijk van de spreiding. De afloop in een dodelijk ongeval wordt bepaald door de absorptie van de opgebouwde kinetische energie door het lichaam van het verkeersslachtoffer. Deze energie is kwadratisch evenredig met de snelheid bij aanvang van de botsing. Algemeen wordt aangenomen dat, gegeven een kop-staartbotsing, een dodelijke afloop dus kwadratisch evenredig is met de gemiddelde snelheid.

-Tegenligger

Potentiële conflicten met tegemoet komend verkeer (inhaalmanoeuvres) ontstaan als gevolg van ongelijke snelheden. Het aantal potentiële conflicten neemt proportioneel toe met de spreiding van de snelheid. Gegeven een potentieel tegenligger-conflict is het ontstaan van een botsing proportioneel met het kwadraat van de gemiddelde snelheid. Het tijdig tot stilstand komen van een voertuig is namelijk afhankelijk van de snelheid. Bij een tegenligger conflict moeten echter beide voertuigen op tijd tot stilstand zien te komen. Gegeven een

botsing met een tegenligger is een dodelijke afloop dus kwadratisch evenredig met de gemiddelde snelheid.

-Kruisend of stilstaand voertuig

Gegeven een potentieel conflict met een kruisend of stilstaand voertuig of object is het ontstaan van een botsing proportioneel met de gemiddelde snelheid. Gegeven een botsing met een kruisend of stilstaand voertuig is een dodelijke afloop kwadratisch evenredig met de gemiddelde snelheid.

Als de snelheden voor en na de introductie van een maatregel (infrastructuur, controle of ISA) worden gemeten dan is de verandering in het verwachte aantal ongevallen (kans) uit te drukken als functie van de relatieve verandering van de gemiddelde snelheid (V_n/V_v) en/of spreiding (S_n/S_v) in voor- en na-situatie. Hiertoe worden de kansveranderingen op potentiële conflicten en afhankelijke kansveranderingen op botsingen en op eventuele dodelijke afloop vermenigvuldigd per type conflict. Tabel 6.1 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 6.1 Kansveranderingen voor drie typen ongevallen gerelateerd aan verandering van het gemiddelde en de spreiding van de snelheid (Bron: Koornstra, 1996).

Kansverandering	Potentieel conflict	Ongeval	Dodelijk ongeval
Kop-staart	S_n/S_v	S_n^2/S_v^2	$S_n^2 \cdot V_n^2 / S_v^2 \cdot V_v^2$
Tegenligger	S_n/S_v	$S_n \cdot V_n^2 / S_v \cdot V_v^2$	$S_n \cdot V_n^4 / S_v \cdot V_v^4$
Kruisend/stilstaand	1	V_n/V_v	V_n^3/V_v^3
S _v : spreiding in voorsituatie		V _v : gemiddelde snelheid in voorsituatie	
S _n : spreiding in na-situatie		V _n : gemiddelde snelheid in na-situatie	

Onder de aanname dat de gemiddelde snelheid en de spreiding een constante verhouding hebben, kunnen de eerder besproken relaties samengevat worden als functies van de gemiddelde snelheid. Tabel 6.2 toont een proportioneel verband tussen de relatieve verandering van het aantal ongevallen en de relatieve verandering van de gemiddelde snelheid verheven tot machten van 1 tot 3. Voor het aantal dodelijke ongevallen is het verband proportioneel met machten van 3 tot 5.

Tabel 6.2 Kansveranderingen voor drie typen conflicten gerelateerd aan verandering gemiddelde snelheid.

Kansverandering	Ongeval	Dodelijk ongeval
Kop-staart	$(V_n/V_v)^2$	$(V_n/V_v)^4$
Tegenligger	$(V_n/V_v)^3$	$(V_n/V_v)^5$
Kruisend/stilstaand	V_n/V_v	$(V_n/V_v)^3$

6.4.3 Empirisch model relatie snelheid en veiligheid

Uit empirisch onderzoek naar de effecten van veranderingen van de gemiddelde snelheid op zowel autosnelwegen als wegen binnen en buiten de kom in Zweden, heeft Nilsson een model afgeleid waarin het risico verandert evenredig met het quotiënt van de snelheid in de voor- en na-situatie verheven tot een macht. Dit wordt het *Power model* (ook wel *law*) van Nilsson genoemd (Nilsson 1981). De empirie komt redelijk overeen met de theorie, aangezien het empirische onderzoek een mix van conflicttypen betrof. Het model van Nilsson

veronderstelt een proportioneel kwadratisch verband tussen de relatieve verandering van het totaal aantal ongevallen en de relatieve verandering van de gemiddelde snelheid. Voor het aantal ongevallen met letsel is het verband proportioneel met de derde macht en voor dodelijke ongevallen met de vierde macht.

Power model volgens Nilsson: $\Delta R_r = \left(\frac{V_n}{V_v} \right)^p$	ΔR_r : relatieve verandering risico r (risicoreductie: $1 - \Delta R_r$) V_v : gemiddelde snelheid in voor-situatie V_n : gemiddelde snelheid in na-situatie
<p>p=2 als r = totaal aantal ongevallen p=3 als r = aantal ongevallen met letsel p=4 als r = aantal dodelijke ongevallen</p>	

Dit betekent dat als een snelheid van 60 km/h voor de introductie van de maatregel afneemt tot 50 km/h na de maatregel, het risico met een factor $50^3/60^3 = 0.58$ verandert, oftewel een risicodaling van $(1 - 0.58 =)$ 42%-punt t.o.v. de voorsituatie. Het betreft hier de kans op een ongeval met letsel (inclusief dodelijke slachtoffers).

Het model van Nilsson wordt in de studies naar ISA, die in hoofdstuk 7 besproken worden, gebruikt om de effecten op de verkeersveiligheid te schatten. Naast Nilsson hebben o.a. ook Finch en Taylor relaties afgeleid uit empirische gegevens over ongevallen en snelheid. Uit studies naar de effecten van wijziging van de snelheidslimiet in verschillende landen is het volgende verband gevonden: verandering van de gemiddelde snelheid met een mile per hour (1 mph/h) resulteert in een verandering van het aantal ongevallen met 3% en het aantal letselongevallen met 5% (Finch 2000).

6.4.4 Huidige snelheidsovertredingen

Uit de theoretische en empirische relaties tussen snelheid en ongevallen volgt dat lagere snelheden veiliger zijn. Volgens tabel 6.3 blijkt echter dat de doorsnee Nederlandse automobilist massaal de huidige limieten overtreedt. Per wegtype verschillen de percentages overtredingen. Het is opmerkelijk dat op sommige wegtypen zelfs een meerderheid de limiet overtreedt en bij navraag blijkt dat vele weggebruikers hun overtreding ook niet als negatief beoordelen (Wegman 2001b). De verklaring hiervoor wordt gezocht in het feit dat de hoogte van de limieten niet overeenkomt met de beleving en verwachting van de bestuurder op dat stuk weg, op dat moment van de dag. In de Duurzaam-Veilig-visie beoogt men hieraan wat te doen. Helaas zullen er ook dan nog notoire snelheidsovertreders blijven die bewust en met zeer hoge snelheden de limiet overtreden.

Tabel 6.3. Percentage overschrijders van de snelheidslimieten onder personenwagens op de diverse wegtypen. Cijfers van 1994 (voor niet- autosnelwegen) en 2000 (voor autosnelwegen). Bron: BIS-V.

Wegtype	Snelheidslimiet (km/uur)	Bijzonderheden	Overschrijders (procent)
Autosnelweg	120		36
	100		38
Autoweg	100	1 x 2 rijstroken	12
Buiten de bebouwde kom	80	gesloten voor langzame motorvoertuigen	37
	80	gesloten voor fiets en bromfiets	39
	80	1 x 2 rijstroken	30
	80	1 x 1 rijstrook	26
Binnen de bebouwde kom	70	2 x 2 rijstroken en gesloten voor fiets en bromfiets	50
	50	2 x 2 rijstroken en gesloten voor fiets en bromfiets	73
	50	1 x 2 rijstroken en gesloten voor fiets en bromfiets	64
	50	alle verkeer	27

6.4.5 Besparing als iedereen zich aan de limiet zou houden

In het rapport *Veiligheidsconsequenties van ISA* heeft de SWOV een theoretische berekening gepubliceerd van het verkeersveiligheidseffect als iedereen zich in Nederland aan de huidige snelheidslimieten zou houden (Oei 2001). Hierbij is aangenomen dat alle overschrijders van de limiet exact deze limietsnelheid gaan rijden waardoor de gemiddelde snelheid daalt. Dit zou, volgens de methode Nilsson, landelijk leiden tot een reductie van het aantal letselongevallen met 26% en tot 31% minder dodelijke ongevallen. Op 80 km/h-wegen is dat resp. 24% en 30% en op 50 km/h-wegen met gesloten verklaring voor langzaam verkeer is dat zelfs 34% en 43%. Tabel 6.4 geeft hiervan een overzicht (berekeningsmethode in bijlage 6).

Tabel 6.4. Geraamde reducties van het jaarlijkse aantal ongevallen met letsel en met doden op de verschillende wegtypen bij algehele invoering van ISA in Nederland (Oei 2001).

Ongevallen reductie	snelweg	autoweg	80-weg	50-weg gesloten	50-weg alle verkeer	totaal alle wegen in NL
letsel	10%	6%	24%	34%	14%	26%
dodelijk	13%	8%	30%	43%	19%	31%

In paragraaf 5.2 zijn per DV-wegcategorieën reductiepercentages voor ISA geschat aan de hand van de methode Oei. Hieruit blijkt dat het OWN, bestaande uit gebiedsontsluitende wegen buiten en binnen de bebouwde kom (GOW-bu en -bi), een reductie van 18% (2% resp. 15%, afronding) van het totale landelijke aantal letselongevallen voor zijn rekening kan nemen bij volledige invoering van ISA. Dit percentage is veruit het grootste van alle ADA-systemen. Deze schatting is alleen gebaseerd op een theoretische verlaging van de gemiddelde snelheid bij volledige penetratie. Wat het effect is van lagere penetratie graden, waarbij een wisselwerking ontstaat tussen ISA-voertuigen en gewone voertuigen, is met deze methode niet te voorspellen. Andere verkeerskundige effecten zoals inhalen en volgfstanden spelen ook een rol. Naast een veiligheidseffect kan er een capaciteitseffect zijn. In paragraaf 6.3 is een inventarisatie gemaakt van mogelijke verkeerskundige effecten van ISA. De literatuurstudie van hoofdstuk 7 behandelt diverse onderzoeken waarin deze effecten aan de orde komen. In het vervolg van dit onderzoek (hoofdstuk 8 en 9) wordt via microsimulatie getracht meer inzicht in een aantal van deze effecten te krijgen.

6.5 Samenvatting Snelheidsbeheersing met ISA

6.5.1 Kenmerken ISA

Intelligente SnelheidsAanpassing (ISA) is een systeem dat de bestuurder ondersteunt bij het aanpassen van de rijnsnelheid. Onder ISA verstaan we alle systemen in de auto die bij een (dreigende) overschrijding van de snelheidslimiet hetzij informatie hierover doorgeven aan de bestuurder, hetzij de snelheid van het voertuig daadwerkelijk begrenzen tot de limiet. ISA-systemen zijn in paragraaf 6.2 getypeerd aan de hand van drie functionele en drie technische kenmerken.

Functionele kenmerken:	Technische kenmerken:
1. Mate van ondersteuning -Passief ondersteunend: <i>informerend</i> <i>waarschuwend</i> -Actief ondersteunend -Controlerend	4. Limietbepaling -Voertuiggebonden: <i>GIS + dGPS</i> -Infrastructuurgebonden: <i>radiobakens</i> -Handmatige instelling
2. Mate van vrijwilligheid -Vrijwillig -Dwingend -Gelimiteerd	5. Snelheidsbegrenzing -Actief gaspedaal -'Dood' gaspedaal <i>evt. met afremmen</i>
3. Type snelheidslimiet -Statisch -Variabel -Dynamisch	6. Interface -Visueel -Akoestisch -Haptisch

6.5.2 Effecten ISA

Ongeacht het type systeem beoogt ISA de verkeersveiligheid te verbeteren middels het voorkomen van te hoge en onaangepaste snelheden. Er ontstaat een wisselwerking tussen de begrensde ISA-voertuigen en gewone, onbegrensde voertuigen. Bij lage penetratie graden zullen er andere effecten optreden dan bij hoge. Het effect van ISA zal primair een snelheidseffect zijn dat opgebouwd is uit het effect van de individuele ISA-voertuigen, het effect van de beïnvloeding van andere voertuigen plus het effect op de variantie in de snelheidsverdeling. De verwachting is dat de introductie van ISA tevens invloed heeft op verkeerskundige aspecten als inhalen, volgtijden en TTC, de- en acceleratie en reistijd.

In de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid spelen zowel menselijke vaardigheden als fysische wetmatigheden een rol. Hogere rijnsnelheden geven minder tijd een botsing te voorkomen en bovendien leiden hogere botssnelheden tot ernstiger letsel. In paragraaf 6.4 wordt dit verklaard aan de hand van een theoretisch en een empirisch model voor de relatie tussen snelheid en de kans op ongevallen. Het empirisch model wordt het Power model van Nilsson genoemd en veronderstelt een proportioneel kwadratisch verband tussen de relatieve verandering van het totaal aantal ongevallen en de relatieve verandering van de gemiddelde snelheid. Voor het aantal ongevallen met letsel is het verband proportioneel met de derde macht en voor dodelijke ongevallen met de vierde macht. Dit model wordt in een aantal studies naar ISA, die in hoofdstuk 7 besproken worden, gebruikt om de effecten op de verkeersveiligheid te schatten.

De huidige snelheidslimieten worden in Nederland massaal overschreden. Als iedereen zich aan de maximum snelheid zou houden kan dat landelijk een besparing opleveren van 26% minder letselongevallen. Volgens de berekening in paragraaf 5.2 kan het OWN een reductie van 18% van het totale (landelijke) aantal letselongevallen voor zijn rekening nemen bij volledige invoering van ISA.

Hoofdstuk 7 Literatuurstudie onderzoek naar ISA

Dit hoofdstuk bespreekt een aantal Europese studies naar ISA. Paragraaf 2 behandelt de rijnsimulatorstudie, de testenritten op de openbare weg en de microsimitaties die zijn uitgevoerd door de Universiteit van Leeds. In paragraaf 3 komt het testen van ISA op de openbare weg in een Tilburgse wijk aan bod. Paragraaf 4 bespreekt de opzet en uitkomsten van een grote praktijktest met verschillende ISA-varianten in vier Zweedse steden. In paragraaf 5 worden de resultaten van verschillende microsimitatiestudies besproken die uitgevoerd zijn in het kader van ADVISORS. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvatting van de belangrijkste resultaten uit het besproken onderzoek. Doel van dit hoofdstuk is inzicht te krijgen in wat voor soorten onderzoek er al naar ISA is gedaan, welke ISA-varianten bestudeerd zijn en wat de geconstateerde effecten zijn. De resultaten van dit hoofdstuk zijn de effecten van ISA die ook op het OWN te verwachten zijn.

7.1 Inleiding literatuurstudie

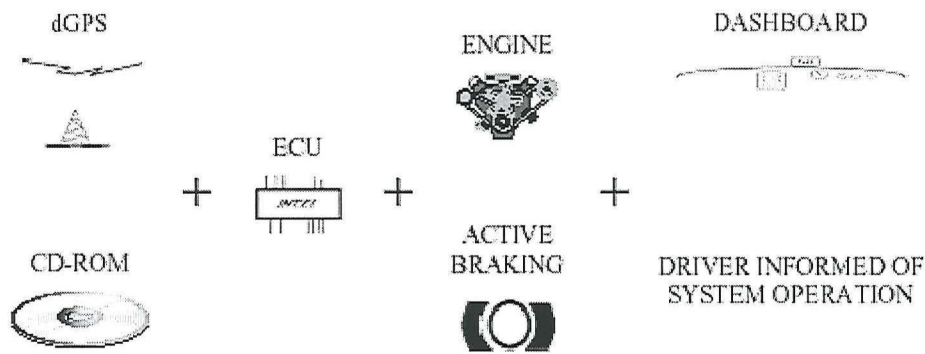
In de jaren negentig zijn een aantal grootschalige studies naar ISA verricht. In het kader van het Europese onderzoeksproject MASTER (Várhelyi 1998 en 2001) zijn in Engeland, Zweden, Spanje en Nederland op de openbare weg ritten gemaakt met speciaal uitgeruste voertuigen met het doel verschillende ISA-systemen te testen en de omgang van bestuurders met ISA te onderzoeken. De Universiteit van Leeds (UK) heeft tevens voor drie verschillende ISA-varianten het rijgedrag bestudeerd in een rijnsimulator en microsimitaties uitgevoerd. In het kader van het Europese onderzoeksproject ADVISORS zijn verschillende microsimitaties uitgevoerd. Binnen dit project heeft de TU Delft via microsimitaties de effecten op capaciteit en veiligheid bepaald van ISA op de autosnelweg. In Zweden en Nederland zijn grootschalige experimenten op de openbare weg uitgevoerd met verschillende ISA-systemen. Eind 2003 worden de resultaten verwacht van een proef op de openbare weg in de Belgische stad Gent. Vanaf 26 oktober 2002 hebben hier, gedurende 6 maanden, 34 personenauto's en 3 bussen rondgereden die uitgerust waren met een half-open ISA-systeem (actief gaspedaal). In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens het onderzoek besproken van het EVSC-project van de Universiteit van Leeds, de ISA-trials in Zweden, de ISA-pilot in Tilburg en de microsimitaties in het kader van het ADVISORS-project.

7.2 EVSC-project van de Universiteit van Leeds

Het project *External Vehicle Speed Control* (EVSC) van de Universiteit van Leeds omvat zowel testen in een rijnsimulator, testenritten op de openbare weg met een speciaal uitgerust voertuig als microsimitaties. De uitkomsten zijn gepubliceerd in het rapport *External Vehicle Speed Control: Executive Summary of Project Results* en *EVSC Final Report: Integration* (Carsten 2000). In deze paragraaf worden eerst de belangrijkste resultaten besproken van testen in een rijnsimulator en op de weg. Vervolgens komen de resultaten van de microsimitatie aan de orde en tenslotte het geschatte veiligheidseffect.

7.2.1 Geteste EVSC-systemen

Drie varianten van EVSC zijn getest met verschillende bestuurders in een rijnsimulator. De varianten 1 en 2 zijn tevens getest op de openbare weg, waarbij gebruik gemaakt wordt van een digitale kaart op Cd-rom en dGPS om de positie van het voertuig te bepalen. De in alle varianten gebruikte Human Machine Interface (HMI) bestaat uit een schermje op het dashboard dat de geldende limiet en de rijnsnelheid toont en er klinkt een geluidssignaal bij elke limietwijziging. EVSC-variant 2 (Mandatory-Fixed) grijpt in door middel van het afknijpen van de brandstoftoevoer en kan indien nodig actief 'bij' remmen. Figuur 7.1 toont de componenten waaruit EVSC-variant 2 is opgebouwd.



Figuur 7.1: Componenten van het EVSC-systeem (Bron: EVSC Final Report).

-EVSC-variant 1 'Driver Select'

De eerste geteste variant, het vrijwillige EVSC-systeem 'Driver Select', laat de bestuurder drie keuzes. Om te beginnen kan de bestuurder een groene knop op het stuur indrukken waardoor het systeem wordt ingeschakeld. De snelheid wordt nu begrensd tot een statische limiet. Bij overschrijding van de limiet klinkt een *waarschuwing* (advisory). De bestuurder heeft altijd de mogelijkheid om een rode knop in te drukken om het systeem uit te schakelen (overrulable). Het systeem staat dan in de standby-mode tot de volgende limietwijziging. Bij een ingeschakeld systeem heeft de bestuurder tevens de mogelijkheid om tijdens het overschrijden van de limiet het audiosignaal gedurende 4 seconden te negeren. Hierna schakelt het systeem over naar de standby-mode. Het 'Driver Select'-systeem kan elk gewenst moment in- en uitgeschakeld worden door het indrukken van de groene, resp. rode knop. Deze variant is getest in de rijnsimulator en op de openbare weg.

-EVSC-variant 2 'Mandatory-Fixed'

De tweede variant van het EVSC-systeem begrenst automatisch (*controlerend*), is *dwingend* (mandatory) en kent een *statische* limiet (fixed). Dit betekent dat de rijnsnelheid permanent begrensd wordt tot de geldende snelheidslimiet. Het systeem vertraagt het voertuig zodanig dat bij het inrijden van een zone met een lagere limiet de rijnsnelheid reeds verlaagd is tot die limiet. De bestuurder kan dus nooit de limiet overschrijden. Deze variant is zowel getest in de rijnsimulator, op de openbare weg als in de microsimulatie.

-EVSC-variant 3 'Mandatory-Variable'

De derde variant is ook een *controlerend* en *dwingend* EVSC-systeem, maar kent een *variabele* limiet. Deze variant is alleen getest in de rijnsimulator en begrenst de snelheid extra, op een lager niveau dan de wettelijke limiet, bij moeilijke bochten en oversteekplaatsen voor voetgangers. Tabel 7.1 toont de geteste EVSC-systemen met bijbehorende functionele kenmerken en het soort onderzoek.

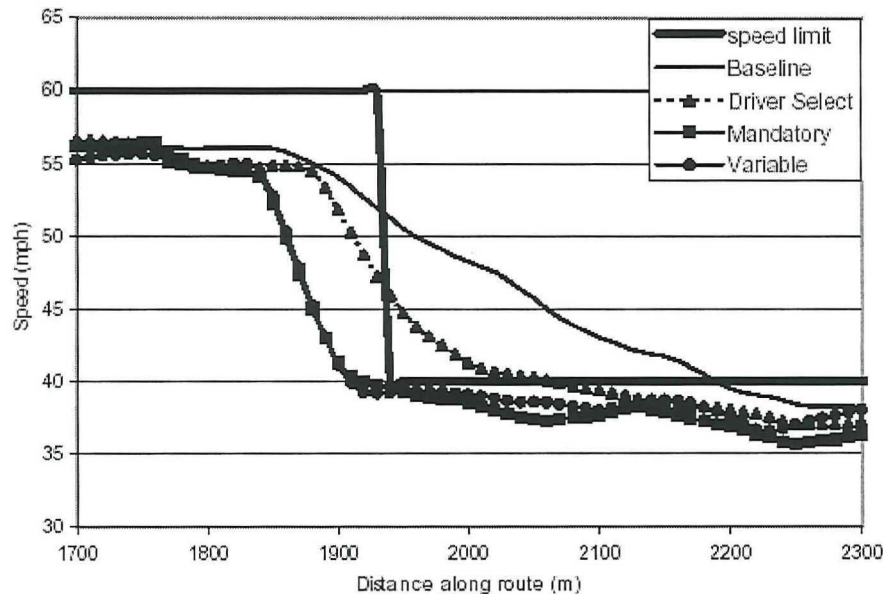
Tabel 7.1: Overzicht geteste EVSC-systemen

EVSC-variant	ISA functionaliteit			type onderzoek
	1. mate van Ondersteuning	2. mate van Vrijwilligheid	3. type Snelheidslimiet	
1 'Driver Select'	Waarschuwend (d.m.v. geluidssignaal)	Vrijwillig (in en uit te schakelen)	Statisch	rijnsimulator/weg
2 Mandatory-Fixed	Controlerend	Dwingend	Statisch	rijnsimulator/weg/ microsimulatie
3 Mandatory-Variable	Controlerend	Dwingend	Variabel	rijnsimulator

7.2.2 Resultaten test in rijnsimulator EVSC-project Leeds

De invloed van de drie EVSC-varianten op het rijgedrag van de bestuurders werd bestudeerd in een rijnsimulator. De gesimuleerde route was ongeveer 22 miles (35 km) lang en bestond uit zowel stedelijke en landelijke wegen als een stuk autosnelweg.

De resultaten tonen dat EVSC geringe invloed heeft op de gemiddelde snelheid, maar dat het wel de gereden maximale snelheden verlaagt. De effecten waren het duidelijkst in specifieke situaties zoals bij het inrijden van de bebouwde kom. De dwingende EVSC-systemen (variant 2 en 3) verlaagden op tijd de snelheid tot de geldende limiet. Het effect van het vrijwillige systeem (variant 1) op de snelheid lag halverwege tussen dat van het dwingende EVSC en een gewone auto (nulvariant). Figuur 7.2 toont voor de drie varianten en een onbegrensd voertuig (baseline=nulvariant) het snelheidsverloop bij het inrijden van een dorp.



Figuur 7.2: Snelheidsverloop bij het inrijden van een dorp, van drie EVSC-varianten en een onbegrensd voertuig (baseline).

Verschillende gedragsveranderingen zijn waargenomen in het experiment. Zowel de hiaatacceptatie als het volggedrag wijzigden bij gebruik van EVSC. Op kruisingen verkleinden de geaccepteerde minimale hiaten en de minimale TTC's. Dit duidt op een riskanter gedrag.

Bij het voertuigvolggedrag was eenzelfde trend te constateren. Volgtijden van minder dan 1 seconde (kritisch m.b.t. veiligheid) namen toe zowel binnen als buiten de bebouwde kom. Bestuurders met EVSC rijdend achter een langzaam voertuig, zonder mogelijkheid tot inhalen, waren meer geneigd te volgen op kortere afstand.

7.2.3 Resultaten test op openbare weg EVSC-project Leeds

Met behulp van een speciaal uitgerust voertuig is het rijgedrag op de openbare weg onderzocht. De testroute was ongeveer 42 miles (67 km) lang en liep door stedelijk en landelijk gebied. De route was opgebouwd uit een aantal verschillende wegtypen, zowel wegen binnen de bebouwde kom met gemengd verkeer en veel voetgangers als wegen buiten de kom en een stuk autosnelweg. De snelheidslimieten varieerden tussen de 30 en 70 mph (48 en 113 km/h.) Bij overschrijding van deze limieten, of nadering van een zone met een lagere limiet, kneept het (ingeschakelde) systeem de brandstoftoevoer af. Wanneer de snelheid te hoog bleef remde het systeem af met lichte remdruk en vertraagde het voertuig met maximaal 2 m/s^2 .

Bestuurders met variant 1 waren over het algemeen tevreden met het ingeschakelde systeem, maar als er de mogelijkheid was de snelheidslimiet te overschrijden schakelden ze het systeem uit. Dit bleek juist te gebeuren in situaties waar het systeem het meeste effect zou hebben, bijvoorbeeld bij het inrijden van plattelandskernen. Zoals te verwachten was, hadden de testritten met variant 2 een grote reductie van de maximaal gereden snelheden tot

gevolg, met name in stedelijke gebieden en landelijke kernen (zie ook figuur 7.2). De snelheidsdistributie van variant 2 concentreerde zich rond de snelheidslimiet. Er was geen sprake van een verschuiving van de lagere snelheden richting de limiet. Hieruit werd geconcludeerd dat de bestuurders niet probeerden een verondersteld reistijdverlies te compenseren. De resultaten uit de rijnsimulator, betreffende het volgen van langzame voertuigen op kortere afstand, werden niet bevestigd op de openbare weg. Bij variant 1 was het systeem ongeveer 50% van de rittijd ingeschakeld. De onderzoekers geconcludeerden hieruit dat het effect van dit systeem ruwweg de helft is van variant 2. Deze conclusie lijkt niet terecht omdat het systeem uitgeschakeld werd juist waar het systeem het meeste effect zou hebben.

7.2.4 Resultaten microsimulatie EVSC-project Leeds

De netwerkeffecten van EVSC zijn bepaald aan de hand van microsimulaties. In het programma DRACULA zijn vier netwerken gemodelleerd bestaande uit verschillende wegtypen: een stedelijk netwerk, zowel binnen als buiten de spits, een landelijk netwerk en een autosnelweg. Bij een toenemend aantal EVSC-voertuigen (van 0 tot 100% in stappen van 10%) domineren deze het verkeer steeds meer. Het punt waarop een groter aandeel EVSC resulteert in geen of slechts geringe veranderingen wordt de verzadigingspenetratie genoemd. Op het autosnelwegennetwerk was sprake van zoveel congestie dat de effecten verwaarloosbaar zijn. Voor zowel het stedelijke als het landelijke netwerk lag de verzadigingspenetratie rond de 60%. Tabel 7.3 geeft een overzicht van de belangrijkste uitkomsten van de microsimulaties uit het EVSC-project.

-Reistijd

Op het landelijke netwerk was het effect op de reistijd minimaal bij een penetratie van 60%: een toename van minder dan ½%. Op het stedelijke netwerk nam de gemiddelde reistijd toe met toenemende EVSC-penetratie. Dit resulteerde bij een penetratie tot 100% in een stijging van de reistijd met 2.6% in de (ochtend) spits. In deze spits was er congestie op het netwerk, die de snelheid al verlaagde. Buiten de spitsperiode was het effect duidelijker: 6.4% langere reistijd. De verlenging van de reistijden ging overigens gepaard met een besparing op het brandstofverbruik tot ca. 8%. In het rapport wordt ook vermeld dat EVSC waarschijnlijk de variaties in reistijd zal verkleinen en dat daarmee de voorspelbaarheid verbetert. (Dit wordt echter niet onderbouwd met resultaten en valt dus niet te controleren.)

-Snelheidsdistributie

Het effect op de verdeling van de snelheden was duidelijker voor het stedelijke netwerk dan voor het landelijke netwerk of de autosnelweg. Op het stedelijke netwerk was het effect van EVSC groter buiten de spits dan tijdens de congestie in de spits. Ondanks het feit dat EVSC het aantal grote snelheidsovertredingen verminderde ontstond er niet meer congestie (geen effect op capaciteit). De limiet werd zonder EVSC (nulvariant) buiten de spitsperiode in 34% van de rittijd overschreden. In de spits was dat in 20% van de tijd. Bij een penetratie van 100% EVSC werd de overschrijding 0%. EVSC reduceerde op effectieve wijze de hoge rijnsnelheden, met name de buitensporig hoge snelheden. De verwachting was dat dit resulteert in minder ongevallen.

-Inhalen

De implementatie van EVSC verkleinde het aantal inhaalmanoeuvres op het landelijke netwerk. Bij een penetratie van 60% is het inhalen afgenomen met 10%. Hogere penetratiegraden leverden geen verdere verbetering.

Tabel 7.3: Overzicht resultaten microsimulatie EVSC-project Leeds

Netwerk	Verzadiging spenetratie	Reistijd	Capaciteit	Inhalen
stedelijk spits	60%	+2.6%	geen effect	geen effect
stedelijk buiten spits	60%	+6.4%	--	geen effect
landelijk	60%	+0.4%	--	-10%
autosnelweg	geen effect a. g. v. hevige congestie			

7.2.5 Effecten op verkeersveiligheid EVSC-project Leeds

Tot slot is een schatting gemaakt van de veiligheidseffecten van verschillende EVSC-varianten. Aan de hand van de verandering in gemiddelde snelheid is met behulp van de methode Nilsson de reductie van het ongevalrisico bepaald. Tabel 7.3 toont de reducties in het totale aantal ongevallen, het aantal ongevallen met letsel (inclusief doden) en het aantal dodelijke ongevallen.

Tabel 7.3: Overzicht schatting reductie van de kans op ongevallen (methode Nilsson), EVSC-project Leeds.

EVSC-systeem	ISA functionaliteit			Reductie aantal ongevallen		
	1. mate van Ondersteuning	2. mate van Vrijwilligheid	3. type Limiet	alle	letsel	dodelijk
Advisory	Informerend	(Vrijwillig)	statisch	-10%	-14%	-18%
			variabel	-10%	-14%	-19%
			dynamisch	-13%	-18%	-24%
'Driver Select'	Waarschuwend	Vrijwillig	statisch	-10%	-15%	-19%
			variabel	-11%	-16%	-20%
			dynamisch	-18%	-26%	-32%
Mandatory	Controlerend	Dwingend	statisch	-20%	-29%	-37%
			variabel	-22%	-31%	-39%
			dynamisch	-36%	-48%	-59%

Uit de tabel blijkt dat het veiligheidseffect het laagst is bij het Advisory-systeem met een statische limiet: een reductie van het totale aantal ongevallen met 10%. De reductie van het aantal ongevallen met letsel is bij dit systeem 14% en het aantal dodelijke ongevallen vermindert met 18%. Een variabele limiet levert ca. 1%-punt meer reductie en een dynamische limiet nog eens 3-6%-punt. Bij het Mandatory-systeem is de reductie meer dan twee keer zo groot als bij het Advisory-systeem. Met een statische limiet bedraagt de reductie van het totale aantal ongevallen 20%. Bij dit systeem is de reductie van de letselongevallen 29% en de dodelijke ongevallen 37%. Een variabele limiet levert 2%-punt meer reductie en een dynamische limiet nog eens 4-10%-punt. Het veiligheidseffect zal het grootst zijn bij invoering van een Mandatory-systeem dat beschikt over dynamische adviessnelheden. Uit het onderzoek in de rijnsimulator bleek dat het effect op de snelheid van het vrijwillige systeem ('Driver Select') de helft bedraagt van het dwingend controlerend EVSC. In de tabel komt dit tot uiting in reductiepercentages voor 'Driver Select' die de helft bedragen van het Mandatory-systeem.

7.2.6 Conclusie EVSC-project Leeds

Er zijn drie varianten van EVSC getest.

Variant 1: 'Driver Select' (waarschuwend, vrijwillig, statisch).

Variant 2: 'Mandatory-Fixed' (controlerend, dwingend, statisch).

Variant 3: 'Mandatory-Variable' (controlerend, dwingend, variabel).

Alle varianten zijn getest in een rijnsimulator. De varianten 1 en 2 zijn tevens getest op de openbare weg, waarbij gebruik gemaakt wordt van een digitale kaart op Cd-rom en dGPS om de positie van het voertuig te bepalen. EVSC-variant 2 grijpt in doormiddel van het afknijpen van de brandstoftoevoer en kan indien nodig actief 'bij' remmen. De in alle varianten gebruikte Human Machine Interface bestaat uit een schermje op het dashboard dat de geldende limiet en de rijnsnelheid toont en er klinkt een geluidssignaal bij elke limietwijziging.

-Rijnsimulator

De dwingende EVSC-systemen (variant 2 en 3) verlaagden op tijd de snelheid tot de geldende limiet. Het effect van het vrijwillige systeem (variant 1) op de snelheid lag halverwege tussen dat van het dwingende EVSC en een gewone auto (nulvariant).

Op kruisingen verkleinden de geaccepteerde minimale hiaten en TTC's. Bestuurders met EVSC rijdend achter een langzaam voertuig, zonder mogelijkheid tot inhalen, waren meer geneigd te volgen op kortere afstand. Dit duidt op een risicovoller rijgedrag.

-Testen op de openbare weg

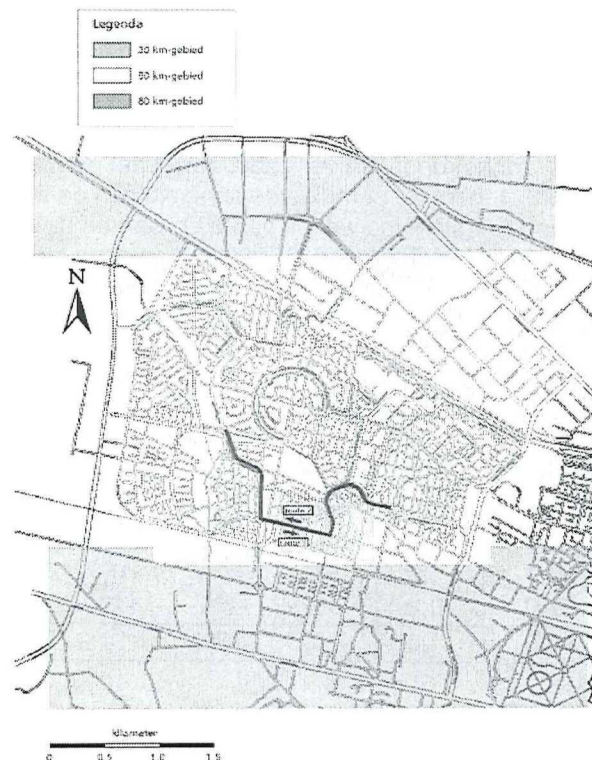
Bestuurders met het vrijwillige EVSC-systeem (variant 1) schakelden het systeem uit als er de mogelijkheid was de snelheidslimiet te overschrijden. Dit bleek juist te gebeuren in situaties waar het systeem het meeste effect zou hebben. Het systeem was ongeveer 50% van de rittijd ingeschakeld. Bij geen van de geteste systemen bleek sprake van een verschuiving van de lagere snelheden richting de limiet. Hieruit werd geconcludeerd dat de bestuurders niet probeerden een verondersteld reistijdverlies te compenseren. De resultaten uit de rijnsimulator, betreffende het volgen van langzame voertuigen op kortere afstand, werden niet bevestigd op de openbare weg.

-Microsimulatie

Op het stedelijke netwerk nam de gemiddelde reistijd toe met 2.6% bij volledige penetratie in de spits en met 6.4% buiten de spits. Er is geen effect op de capaciteit geconstateerd. EVSC reduceerde op effectieve wijze de hoge rijnsnelheden, met name de buitensporig hoge snelheden. De verwachting was dat dit resulteert in minder ongevallen. Alleen op het landelijke netwerk neemt het aantal inhaalmanoeuvres af met 10%. Het Mandatory EVSC-systeem (controlerend en dwingend) met dynamische snelheidslimieten heeft naar verwachting het grootste effect op de verkeersveiligheid. Bij een statische limiet zal dit systeem 29% van het aantal letsel ongevallen kunnen voorkomen. Er is geen effect op de capaciteit geconstateerd.

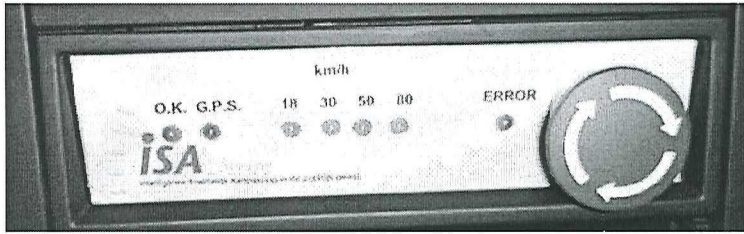
7.3 ISA-pilot Tilburg

Met de woorden "Als de automobilisten zich niet intelligenter weten te gedragen, dan moeten de auto's maar intelligent gedrag gaan vertonen" heeft toenmalig minister Netelenbos van Verkeer en Waterstaat het startschot gegeven voor het in de praktijk testen van ISA in de Tilburgse wijk Campenhoef. In de periode september 1999 tot september 2000 is daar een test gehouden met 20 personenauto's uitgerust met ISA. Op een totaal van 750 auto's in de wijk betekent dit een penetratie met 3% ISA. Ongeveer 120 bewoners hebben de auto's gedurende 2-4 maanden gebruikt. Tevens heeft er op lijn 47 een ISA-bus gereden. Hierop hebben 20 verschillende chauffeurs minimaal 10 ritten gereden. Het geteste systeem is een gesloten ISA-systeem (dwingend controlerend) met statische snelheidslimieten van 30, 50 of 80 km/h. Figuur 7.3 toont een kaartje van de Tilburgse wijk Campenhoef met snelheidszones. Figuur 7.4 toont de ISA-display in het dashboard met noodknop en LED's die de snelheidslimiet aangeven.



Figuur 7.3: Kaartje Tilburgse wijk Campenhoef met snelheidszones

Ter bepaling van de geldende limiet wordt gebruik gemaakt van GIS en dGPS. De snelheid wordt begrensd door het afknijpen van de brandstoftoevoer na het passeren van een zonegrens. Het systeem is voorzien van een verzegelde noodknop waarmee het uitgeschakeld kan worden. Het doel van deze praktijktest is, naast onderzoek naar draagvlak en acceptatie, het verkrijgen van inzicht in de effecten van ISA op het rijgedrag en daarvan afgeleid op de verkeersveiligheid en het milieu. Door middel van puntmetingen op wegvakken, logdata met o.a. de snelheid van de ISA-voertuigen, logboeken van de gebruikers en enquêtes onder gebruikers en buurtbewoners heeft men getracht een antwoord te krijgen op onderzoeksvragen met betrekking tot de rijstijl, het snelheidsgedrag en de interactie met andere weggebruikers.



Figuur 7.4: ISA-display in dashboard met LED's en noodklop.

De resultaten van deze proef zijn gepubliceerd in de rapporten: *ISA Tilburg, Eindrapportage Praktijkproef Intelligente Snelheidsaanpassing* (AVV 2001) en *Evaluatie Intelligente Snelheidsaanpassing, Het effect op het rijgedrag in Tilburg* (AGV/ITS 2001). Deze paragraaf bespreekt eerst de belangrijkste verkeerskundige effecten. Vervolgens worden de veiligheidseffecten geschat.

7.3.1 Verkeerskundige effecten ISA-pilot Tilburg

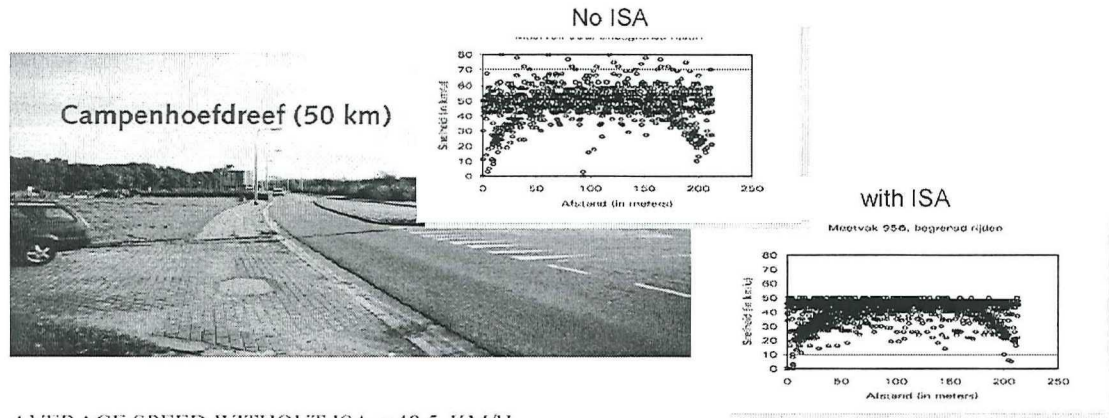
-Snelheid

ISA oefent zoals verwacht een belangrijk effect uit op het rijgedrag: de snelheid wordt in alle onderzochte snelheidsgebieden (zones) door ISA verlaagd, zowel het gemiddelde als de spreiding van de snelheid. Tabel 7.4 toont de gemiddelde snelheid van de testvoertuigen (logdata) in onbegrensde toestand (eerste twee weken van de proef) en de door ISA begrensde toestand, zoals vermeld in *ISA Tilburg* (AVV 2001). Aan deze tabel is de reductie van de kans op ongevallen met ernstig letsel toegevoegd. De reductie is berekend volgens de methode Nilsson (1981).

Tabel 7.4: Gemiddelde snelheid van de testvoertuigen in onbegrensde resp. begrensde toestand in ISA-Tilburg en reductie van de kans op ongevallen volgens methode Nilsson.

Limiet (km/h)	Vo.gem. onbegrensd	Vb.gem. begrensd	Verschil Vb-Vo	reductie ongevallen		
				alle	letsel	dodelijk
30	28,9	25,1	-3,8	-25%	-34%	-43%
50	40,0	38,1	-1,8	-9%	-14%	-18%
80	57,3	57,0	-0,3	-1%	-2%	-2%
totaal	41,5	40,0	-1,4	-7%	-10%	-14%

Uit tabel 7.4 blijkt dat de snelheid met name afneemt op de 30- en 50 km/h-wegen. Het effect op de 80 km/h-wegen lijkt beperkt. De verklaring hiervoor is dat de snelheidscontrole met camera's op de Bredaseweg (80 km/h) het snelheidsgedrag bij onbegrensd rijden heeft beïnvloed. Op de overige 80 km/h-wegen is wel een grote afname van de gemiddelde snelheid als trend waargenomen. Deze is echter niet representatief. In tabel 7.5 is een onderscheid gemaakt tussen wegvakken met en zonder snelheidsremmende voorzieningen. Hieruit blijkt dat het effect van ISA op de 30- en 50 km/h-wegvakken groter is als er geen voorzieningen aanwezig zijn. Figuur 7.5 toont het snelheidsprofiel over 250 m van de Campenhoefdreef in onbegrensde en met ISA-begrensde toestand.



AVERAGE SPEED WITHOUT ISA = 48.5 KM/H
 AVERAGE SPEED WITH ISA = 43.4 KM/H *

Figuur 7.5: Snelheidsprofiel Campenhoofdreef in onbegrensde en met ISA-begrensde toestand bij een limiet van 50 km/h.

Tabel 7.5: Effect van snelheidsremmende voorzieningen op gemiddelde snelheid van de testvoertuigen in onbegrensde resp. begrensde toestand in ISA-Tilburg en reductie van de kans op ongevallen volgens methode Nilsson.

Limiet (km/h)	Vo,gem. onbegrensd	Vb,gem. begrensd	Verschil Vb-Vo	reductie ongevallen		
				alle	letsel	dodelijk
zonder snelheidsremmende voorzieningen						
30	32,9	26,4	-6,5	-36%	-48%	-59%
50	44,7	41,7	-3,0	-13%	-19%	-24%
80	-	--	-	-	-	-
met snelheidsremmende voorzieningen (bij 80: cameracontrole)						
30	28,1	25,4	-2,6	-18%	-26%	-33%
50	38,6	37,1	-1,5	-8%	-11%	-15%
80	63,8	63,4	-0,4	-1%	-2%	-2%

Het rapport vermeldt dat de daling van de gemiddelde snelheid gepaard gaat met een vermindering van de spreiding (standaardafwijking). Hieruit wordt geconcludeerd dat ISA tot een homogener rijgedrag (snelheidsbeeld) leidt. Bij aanwezigheid van snelheidsremmende voorzieningen neemt ook de spreiding minder af. Tabel 7.6 toont de daling in spreiding die het gevolg is van de snelheidsverlaging door ISA.

Tabel 7.6: Standaardafwijking van de testvoertuigen in onbegrensde resp. begrensde toestand, ISA-Tilburg.

Limiet (km/h)	σ_o	σ_b	Verschil $\sigma_b - \sigma_o$
	onbegrensd	begrensd	
30	10.4	7.5	-3.0
50	11.9	9.5	-2.5
80	16.5	15.6	-0.9
totaal	15.4	14.7	-0.7

Het aantal overschrijdingen van de limiet neemt af door ISA. In de snelheidsverdeling is het effect van ISA al merkbaar vanaf snelheden iets lager dan de limiet. Tot dit punt is de frequentieverdeling ongeveer gelijk. Daarna is de helling in de cumulatieve verdeling steiler bij begrenzing door ISA. Tabel 7.7 toont de 75- en 95-percentieelwaarden van de snelheid van de testvoertuigen in onbegrensde resp. door ISA begrensde toestand. Op de 50- en 80 km/h -wegvakken is de afname van de 95-percentieelwaarden groter dan de afname van 75-percentieelwaarden. Het verschil tussen begrensde en onbegrensde situatie wordt groter bij stijgende percentieelwaarden.

Tabel 7.7: 75- en 95-percentielwaarden snelheid van de testvoertuigen in onbegrensde resp. door ISA begrensde toestand, ISA-Tilburg.

Limiet (km/h)	Vo75 onbegrensd	Vb75 begrensd	Vershil Vb75-Vo75	Vo95 onbegrensd	Vb95 begrensd	Vershil Vb95-Vo95
30	36.0	27.8	-8.2	44.4	28.9	-6.7
50	48.4	45.7	-2.7	57.0	47.3	-9.7
80	69.3	69.3	0.0	77.9	75.1	-2.8

-Snelheidsovergangen

Bij de overgang naar een lagere limiet laten de testrijders het systeem de snelheid verlagen. Zowel van hoog naar laag als andersom wordt het moment van ingrijpen bepaald door de frequentie (om de 2 s) van de positiebepaling en reactietijd van het systeem.

-Weginrichting

De invloed van ISA is het grootst op wegvakken waar de inrichting uitnodigt tot hogere rijnsnelheden. Op deze wegvakken is echter het conflict tussen ISA-rijders en niet-begrensde rijders ook groter en daarmee de kans op secundaire effecten (volgafstand, inhalen, irritatie en agressiviteit). Het effect op de gemiddelde snelheid is bij aanwezigheid van snelheidsremmende voorzieningen beperkter.

-80 km/h-wegen

Het effect van ISA op de 80 km/h-wegen is moeilijk vast te stellen doordat het rijgedrag op dit wegtype in de wijk Campenhoef sterk beïnvloed is door snelheidshandhaving met camera's.

-Bus

Het effect van ISA op de bus komt, afgezien van de invloed van de haltes, overeen met dat op de auto. De spreiding van de snelheid neemt wat minder af.

7.3.2 Effecten op verkeersveiligheid ISA-pilot Tilburg

De introductie van ISA heeft door de verlaging van de gemiddelde snelheid een positief effect op de verkeersveiligheid. De snelheidsverlaging levert volgens de methode Nilsson een reductie van het aantal letselgevallen op van gemiddeld 10% (zie tabel 7.4). Op de 50 km/h-wegen is dat gemiddeld 14%, wat overeenkomt met de theoretische schatting voor 50 km/h-wegen voor alle verkeer in hoofdstuk 5 en 6 (methode Oei 2001b). Op 30 km/h-wegen zonder snelheidsremmende voorzieningen is het effect het grootst met 48% en op 80 km/h-wegen met cameracontrole het kleinst met 2% reductie van het aantal letselgevallen (zie tabel 7.5). Het effect van de afname van de spreiding van de snelheden wordt versterkt doordat juist de hoogste snelheden (V95) voorkomen worden (zie tabel 7.6). Het rustiger rijgedrag, de vermindering van het inhalen en de grotere volgafstand tussen ISA-voertuig en voorliggers wijst ook op meer veiligheid. De testrijders rapporteren een verbeterde aandacht voor kwetsbare verkeersdeelnemers. Een negatief effect is dat conflicten en irritaties ontstaan door menging van ISA-rijders met niet-begrensde rijders.

7.3.2 Conclusie ISA-pilot Tilburg

In de Tilburgse wijk Campenhoef is een praktijktest gehouden met 20 personenauto's uitgerust met een gesloten ISA-systeem (controlerend, dwingend) met statische snelheidslimieten van 30, 50 of 80 km/h. Ter bepaling van de geldende limiet wordt gebruik gemaakt van GIS en dGPS. De snelheid wordt begrensd door het afknijpen van de brandstoftoevoer na het passeren van een zonegrens. De invloed van ISA is het grootst op wegvakken waar de inrichting uitnodigt tot hogere rijnsnelheden. Op deze wegvakken is echter het conflict tussen ISA-rijders en niet-begrensde rijders groter. De testrijders rapporteren een verbeterde aandacht voor kwetsbare verkeersdeelnemers. Op de 50 km/h-wegen verlaagt de kans op letsel ongevallen gemiddeld met 14% (overeenkomstig de theoretische schatting in hoofdstuk 5 en 6). Op de 80 km/h-wegen blijft de verlaging beperkt tot slechts 2% vanwege de snelheidscontrole. Over effecten op reistijd en capaciteit maakt het rapport geen melding.

7.4 ISA-trials in Zweden

In vier Zweedse steden heeft een project gelopen met verschillende ISA-varianten gedurende de periode 1999–2002. De uitkomsten van deze, wereldsgrootste, praktijktest zijn gepubliceerd in het rapport *ISA, Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999-2002* (Biding 2002).

Bij de ISA-trials in de steden Borlänge, Lidköping, Lund en Umeå zijn in totaal ongeveer 5000 geëquipeerde voertuigen en meer dan 10.000 bestuurders betrokken. De nadruk ligt op 30 en 50 km/h-wegen in stedelijke gebieden, maar er is ook onderzoek gedaan naar 70 km/h-wegen. Drie verschillende ISA-systemen zijn getest: *informerend*, *waarschuwend* en *actief ondersteunend*. Voor het bepalen van de limiet zijn in Umeå bakens gebruikt en in de andere steden GIS+GPS:

- Umeå: waarschuwend in 4000 voertuigen en bakens langs de weg
- Borlänge: informerend-plus (waarschuwing) in 400 voertuigen
- Lund: actief gaspedaal in 290 voertuigen
- Lidköping: informerend-plus (waarschuwing) in 150 voertuigen en actief gaspedaal in 130 voertuigen

Deze paragraaf bespreekt eerst de geteste ISA-systemen. Vervolgens worden de belangrijkste resultaten uit het verkeerskundig onderzoek besproken. Tenslotte worden de veiligheidseffecten geschat.

7.4.1 Geteste systemen in ISA-trials Zweden

-Waarschuwend ISA in Umeå

In Umeå is in 4000 voertuigen een *waarschuwend* systeem getest waarbij de bestuurder akoestische en visuele signalen (LED) ontvangt als de limiet wordt overschreden. Er wordt verder geen informatie over de geldende limiet in het voertuig getoond. De techniek die gebruikt wordt om de ter plekke geldende limiet te bepalen maakt gebruik van radiobakens aan lantarenpalen en ontvangers in het voertuig. De bakens zijn niet on-line verbonden met een verkeerscentrale, de limieten zijn statisch. De penetratiegraad van de ISA-voertuigen varieert tussen de 5 en 15% met een gemiddelde van 10%.

-Informerend ISA plus waarschuwing in Borlänge en Lidköping

In Borlänge en Lidköping is in respectievelijk 400 en 150 voertuigen een systeem getest dat zowel *informeert* als *waarschuwt* (informerend-plus). Het systeem toont op een display de limiet en geeft een waarschuwing via een geluid en een lampje (LED) bij het overschrijden van de limiet. In Borlänge is tevens een ISA-systeem getest van een andere fabrikant waarbij het gaspedaal gaat trillen (haptische waarschuwing) tijdens een limietoverschrijding. De techniek die gebruikt wordt om de geldende limiet te bepalen maakt gebruik van satelliet (GPS) en een digitale wegenkaart (GIS). Via GSM kunnen updates voor bijvoorbeeld de kaart verzonden worden (alleen in Borlänge). Tevens worden hiermee datalog-files verzonden van het voertuig naar een centrale computer. De penetratiegraad van ISA bedraagt in Borlänge ca. 2%.

-Actief gaspedaal in Lund en Lidköping

In Lund en Lidköping is in respectievelijk 290 en 130 voertuigen een *actief ondersteunend* ISA-systeem getest waarbij het gaspedaal tegendruk geeft bij het overschrijden van de limiet. Een display toont de geldende limiet. GPS en GIS worden gebruikt ter bepaling van de limietsnelheid. De penetratie met ISA is in Lund 1 à 2%.

7.4.2 Verkeerskundig onderzoek ISA-trials Zweden

Om inzicht te krijgen in de effecten van ISA op het verkeer in het algemeen en de verkeersveiligheid in het bijzonder is onderzoek gedaan naar een aantal verkeerskundige aspecten:

- Snelheidsovertredingen, gemiddelde snelheid en spreiding onder 'vrij rijden' condities
- Rijproces: snelheid bij naderen en afslaan bij rotondes en kruisingen
- Hiaattijden en wachtrijen
- Roodlichtnegatie
- Interactie met langzaam verkeer
- Reistijden, brandstofverbruik en uitstoot

Hieronder worden de resultaten en conclusies per aspect kort besproken.

-Snelheidsovertredingen

Het aantal snelheidsovertredingen daalt scherp met ISA. Het effect is het grootst op 50- en 70 km/h-wegen. Dit zijn in Zweden tevens de wegen met de meeste letselongevallen. ISA levert hier volgens de onderzoekers een substantiële bijdrage aan verbetering van de verkeersveiligheid. Een vergelijking tussen de geteste ISA-varianten leert dat de overtredingen het meest afnemen met het actieve gaspedaal, maar de verschillen zijn gering.

-Gemiddelde snelheid en spreiding onder 'vrij rijden' condities

Verkeersmetingen in Umeå wijzen naar een kleine, maar significante reductie in de gemiddelde en hoogste (85-percentiel) snelheden. Dit toont aan dat al bij een penetratie van ca. 10% ISA-voertuigen, zoals bij de proef in Umeå, er effecten optreden in de snelheidsverdeling.

-Snelheid bij het naderen van rotondes en kruisingen

Het naderingsproces van rotondes en kruisingen is beïnvloed door ISA tot 50-80 meter ervoor. De snelheidsreductie is vergelijkbaar met die op het wegvak. Van 0 tot 25 m voor een kruising is er geen effect. Op 50 km/h-wegen met lage naderingssnelheden (25-30 km/h) in de voormeting is er geen effect van ISA in de nameting. Bij T-kruisingen, waarbij de naderingssnelheden meestal hoger zijn, zijn zowel de minimale als maximale snelheden (15- en 85-percentiel) op de hoofdweg gedaald met ca. 2 km/h.

-Snelheid bij het afslaan

De gemeten laagste snelheden op kruisingen liggen tussen de 20 en 30 km/h als afgeslagen wordt van de hoofdweg. Er is geen significant verschil in snelheden bij afslaan met ISA, noch in Lund noch in Borlänge.

Volgens de onderzoekers lijkt er zich een duidelijke conclusie af te tekenen dat op gemiddelde snelheidsniveaus van 30-35 km/h en lager op 50 km/h-wegen ISA geen effect heeft. Dit geldt ook voor rotondes en kruisingen. Bij T-kruisingen lijkt er wel effect te zijn, maar dit is marginaal.

-Hiaattijden en wachtrijen

Uit de verkeersmetingen in Umeå blijkt geen verandering in volgtijd onder congestieomstandigheden. (Dit in tegenstelling tot bevindingen uit het MASTER-project (Várhelyi 1998) waar tijdens het rijden in de file vergroting van de hiaattijd werd geconstateerd.) Tevens zijn er geen aanwijzingen dat de wachtrijlengte toeneemt. Ook de passagierstudies in Lund tonen geen verandering in volgtijd tijdens congestie.

-Roodlichtnegatie

De algemene verwachting is dat ISA leidt tot een rustiger rijstijl. Dit zou onder andere moeten resulteren in een afname van het door roodlicht rijden. Studies naar roodlichtnegatie in Lund kunnen dit echter niet aantonen.

-Interactie met langzaam verkeer

In Lund zijn twee soorten onderzoek gedaan naar de interactie met voetgangers: observatie door een passagier en opname met video. Volgens observaties van het rijgedrag van bestuurders, door meereizende passagiers, heeft ISA een significant positief effect (na sommatie van positieve en negatieve effecten) op het samenspel met voetgangers. Het verlenen van voorrang, ook bij zebrapaden, verbetert licht. Video-opnamen van een zebrapad tonen echter geen verschil aan tussen auto's met of zonder ISA. Ondanks hun lagere snelheid geven bestuurders met ISA niet vaker voorrang. Omgekeerd betekent dit volgens de onderzoekers dat deze bestuurders hun lagere snelheid niet compenseren door minder vaak te stoppen voor een zebrapad. Daarentegen is er een algemene tendens (niet significant) waargenomen dat buschauffeurs dit wel compenseren door iets sneller te rijden bij lage snelheid situaties. De verklaring hiervoor wordt gezocht in het feit dat buschauffeurs zich moeten houden aan zeer krappe dienstregelingen.

Op zes kruisingen in Umeå (7-10% ISA) zijn conflictstudies uitgevoerd. Het totaal aantal conflicten daalt met 68% en het aantal serieuze conflicten met 54%. Het aantal serieuze conflicten met kwetsbare weggebruikers (fietsers en voetgangers) nam ook af met 54%.

-Reistijden, brandstofverbruik en uitstoot

Velen vrezen een toename van reistijd bij gebruik van ISA. In stedelijke gebieden echter bestaat een groot deel van de reistijd uit vertraging bij congestie en stops voor kruisingen. Theoretische berekeningen laten volgens de onderzoekers een toename zien van een paar procent onder de aanname van ongewijzigd rijgedrag. Logdata uit Lund laten alleen een significante, maar marginale afname van de gemiddelde trajectnelheid (van de ISA-voertuigen) zien op 70 km/h-wegen. In het totaal is er echter een zeer marginale toename van de trajectnelheid geconstateerd. De onderzoekers zijn licht verbaasd dat de reistijd nauwelijks wijzigt en zoeken een verklaring in een verandering van rijgedrag. Bestuurders met ISA passen hun gedrag aan door rustiger te remmen, korter te stoppen en sneller te accelereren. Deze rijstijl resulteert tevens in een lagere uitstoot van schadelijke stoffen. Bovenstaande resultaten gelden voor het actieve gaspedaal in Lund, maar lijken ook voor ISA in het algemeen te gelden.

7.4.3 Veiligheidseffecten ISA-trials Zweden

-Veiligheidseffecten in Umeå (waarschuwend ISA)

Ongevalstatistieken voor de jaren 2000 en 2001 laten een daling zien in het proefgebied Umeå van 555 naar 543 doden en ernstig gewonden. Dit verschil berust echter louter op toeval. Daarentegen was er in de jaren 1999-2001 in Zweden een toename van 3% van het aantal ongevallen met ernstig letsel. Het aantal doden en ernstig gewonden nam zelfs toe met 7%. Dat het aantal slachtoffers in Umeå ongeveer hetzelfde is gebleven, terwijl er landelijk een stijging te zien was, impliceert volgens de onderzoekers dat ISA wel degelijk bijdraagt aan een betere verkeersveiligheid.

De eerder besproken studies naar de snelheidseffecten van de verschillende ISA-systemen zijn gebruikt voor het schatten van de effecten op de verkeersveiligheid. Hiertoe maken de onderzoekers gebruik van het Power model volgens de methode van Nilsson, waarin het risico verandert evenredig met het quotiënt van de snelheid tot een macht in de voor- en na-situatie (Nilsson 1981).

$\Delta R^w = \frac{\sum \alpha_j (v_{nj}^w)^3 / \sum \alpha_j}{\sum \alpha_i (v_{vi}^w)^3 / \sum \alpha_i}$	<p>ΔR^w: relatieve verandering risico letselongevallen, per wegtype w (risicoreductie: $1-\Delta R^w$)</p> <p>V_{vi}^w: snelheid in voorsituatie voertuig i op wegtype w</p> <p>V_{nj}^w: snelheid in na-situatie voertuig j op wegtype w</p> <p>α_i, α_j: factor voor het gemiddeld aantal assenparen van voertuig i cq j (personenauto's: $\alpha=1$, vrachtauto's en bussen: $\alpha=1.6$)</p>
--	--

Om tot een gemiddelde waarde per wegtype te komen is de snelheid van elk gepasseerd voertuig verheven tot de derde macht en gesommeerd, waarbij vrachtverkeer en bussen gewogen worden met een factor 1.6 (gemiddeld 1.6 paar assen). De som wordt vervolgens gedeeld door het totaal aantal gepasseerde assenparen. Tabel 7.9 toont de risicoreductie per wegtype na introductie van ISA in Umeå.

Tabel 7.9: Risicoreductie ernstige ongevallen per wegtype na introductie van ISA in Umeå.

Wegtype in Umeå	wegvak	10 m voor kruising
Local road 30km/h	-5%	+1%
Service 30km/h	-2%	-2%
Main road 30km/h	-2%	-2%
Transition 50/30	-3%	+2%
Service 50km/h	+1%	onveranderd
Local road 50km/h	-7%	-4%
Main road 50km/h	onveranderd	-4%
Transition 50/70	-3%	-6%
Transition 70/50	+4%	-6%
Main road 70km/h	-0.5%	+5%

Op bijna alle wegvakken is sprake van een systematische verlaging van het risico, behalve op 70 km/h-wegen. Hierbij dient in beschouwing genomen te worden dat op de 30- en 50 km/h-wegen relatief meer lokaal verkeer rijdt en op de 70 km/h-wegen meer doorgaand verkeer. Het aandeel ISA-voertuigen in het lokale verkeer is groter dan in het doorgaande verkeer omdat de ISA-voertuigen alleen uit Umeå zelf komen (penetratie 5-15%). Op 50 km/h-wegvakken ligt de risicoverandering tussen de +1% en -7% lager. Op de kruisingen zijn de risicoreducties over het algemeen minder groot. Voor de overgangen 50/70 en 70/50 is de risicoreductie met 6% echter aanzienlijk.

-Veiligheidseffecten in Borlänge (informerend plus waarschuwing)

In Borlänge is op basis van de logdata van de met ISA uitgeruste voertuigen de verandering in het ongevalrisico geschat. Tabel 7.10 geeft de resultaten voor alleen de ISA-voertuigen. De penetratie met ISA bedroeg ca 2%.

Tabel 7.10: Risicoreductie letselongevallen per wegtype na introductie van ISA in Borlänge en Lund, alleen ISA-voertuigen.

Wegtype	Borlänge	Lund
30km/h	-10%	-11%
50km/h	-12%	-12%
70km/h	-15%	-13%
90km/h	-11%	n.v.t.

-Veiligheidseffecten in Lund (actief gaspedaal)

Ook in Lund is op basis van de logdata van ISA-voertuigen de verandering in het risico geschat. Tabel 7.10 geeft de resultaten voor alleen de ISA-voertuigen. De penetratie met ISA bedroeg ca. 1.5%. Worden de uitkomsten van tabel 7.10 hiermee vermenigvuldigd dan levert dit de werkelijke reductie in ongevalrisico gedurende de testperiode in Lund.

-Conclusie geschat veiligheidspotentieel ISA

Volgens de onderzoekers wijzen data uit Borlänge en Lund op een vermindering van het aantal snelheidsovertredingen met ISA. Het effect lijkt groter op 50 en 70-wegen dan op 30-wegen. Metingen in Umeå laten echter een groter effect zien op 30-wegen dan op 70-wegen. Dit kan het gevolg zijn van het groter aantal ISA-voertuigen op het lokale netwerk, waar minder doorgaand verkeer van buiten Umeå komt.

Aan de hand van alle studies in Umeå komen de onderzoekers tot de conclusie dat het waarschuwende ISA-systeem, met een penetratie van 5-15%, leidt tot een verbetering van de verkeersveiligheid. Het aantal geregistreerde letselongevallen bleef onveranderd terwijl er landelijk sprake was van een stijging met 7%. De resultaten van de conflictstudies wijzen op een afname in zowel het aantal conflicten tussen motorvoertuigen onderling als met kwetsbare weggebruikers (langzaam verkeer). Het waarschuwende ISA-systeem zou volgens voorzichtige schattingen het aantal slachtoffers in stedelijke gebieden verminderen met 3%. Als hierbij de vermindering van het aantal ernstige conflicten wordt betrokken, komt men op een reductie van 3-4%. Dit betekent een risicoverlaging van 30-40%, bij een penetratie van 100%, als het effect wordt toegeschreven aan alleen de ISA-voertuigen (overschatting). Dit effect is groter dan het gevonden effect van het informerende (plus) systeem in Borlänge.

De berekening van de risicoreductie van het informerende systeem (plus waarschuwing) in Borlänge komt op een effect van 15% op 70-wegen en 10-12% op andere wegtypen. Dezelfde berekening voor het actieve gaspedaal in Lund laat een reductie van het risico zien van 11-13% op alle wegtypen. De onderzoekers kunnen geen verschil aantonen tussen het informerende (plus) systeem in Borlänge en het actieve gaspedaal in Lund. Wordt tevens het verbeterd waarnemen van voetgangers meegenomen dan komt men voor beide systemen uit op een risicoreductie van 15-20%.

Zowel de ongevalanalyses als de snelheidsmetingen wijzen er op dat de ISA-voertuigen de andere weggebruikers positief beïnvloeden. Deze beïnvloedingseffecten dragen waarschijnlijk bij aan een grotere daling van het risico dan louter op grond van de ISA-

penetratie te verwachten is. De metingen tonen aan dat de effecten van ISA groter zijn op een wegvak dan in het zicht van een kruising. De meeste letselongevallen waarbij kwetsbare weggebruikers zijn betrokken gebeuren in Zweden op kruisingen in het OVN (rapport: main road system) Daarom is de verwachting dat het verkeersveiligheidseffect van ISA kleiner is voor kwetsbare (onbeschermd) weggebruikers dan voor automobilisten. Al met al vinden de onderzoekers het redelijk te geloven dat de verkeersveiligheid significant verbetert met ISA. Als iedereen ISA zou hebben (penetratie van 100%) kan het aantal verkeersslachtoffers minimaal met 20% afnemen en in het gunstigste geval met 25% in stedelijke gebieden.

7.4.3 Conclusie ISA-trials Zweden

De belangrijkste conclusie is dat de verkeersveiligheid toeneemt zonder toename van de reistijd. Bij een penetratie van ca. 10% ISA-voertuigen is er al effect op de snelheidsverdeling. Als alle voertuigen uitgerust zijn met ISA kan dat resulteren in 20% minder slachtoffers en in het gunstigste geval met 25% minder in stedelijke gebieden. De ISA-voertuigen rijden homogener en met minder spreiding in de snelheid, wat volgens de onderzoekers de veiligheid waarschijnlijk nog meer zal doen toenemen. Tevens is het waarnemen van voetgangers door bestuurders verbeterd. Bij het naderen van kruisingen is de snelheid (op het moment dat begonnen wordt met remmen) beduidend lager. Op de kruisingen zelf is het snelheidsverschil gering. De reistijden in stedelijke gebieden blijven onveranderd ondanks lagere rijnsnelheden in specifieke gebieden. De verklaring wordt gezocht in het feit dat er minder gestopt en geremd wordt met ISA. In het project werden drie verschillende ISA-systemen getest: informerend-plus (waarschuwing), waarschuwend en actief ondersteunend. De effecten op de snelheden verschillen minimaal tussen de geteste systemen. Een andere opvallende uitkomst is dat de ISA-voertuigen de andere weggebruikers positief beïnvloeden. De effecten kunnen daarom volgens de onderzoekers hoger uitvallen dan louter op grond van het percentage ISA-voertuigen op de weg te verwachten is.

7.5 Microsimulaties ADVISORS.

7.5.1 Algemene uitkomsten microsimulaties ADVISORS

Binnen het Europese onderzoeksproject ADVISORS zijn in het kader van het deelrapport *Road network efficiency and environmental impact assessment of ADAS*. (ADVISORS 2002) microsimulaties uitgevoerd met de programma's⁵ SIMONE, SISTM en HUTSIM. Naast ACC worden een gesloten ISA-variant (controlerend, dwingend, statisch) en een combinatie van beide gesimuleerd voor autosnelwegsituaties (bottlenecks). In HUTSIM wordt tevens een weg in stedelijk gebied gesimuleerd. Hieronder worden de algemene conclusies ten aanzien van ISA kort besproken.

Effect op gemiddelde snelheid:

- Als de maximum snelheidslimiet hoger ligt dan de gemiddelde snelheid, dan heeft de introductie van ISA minimaal effect.
- Het effect van ISA op de gemiddelde snelheid is afhankelijk van verschillende parameters voor de configuratie van de weg en het verkeer, zodat het niet mogelijk is eenvoudige conclusies te trekken.

Effect op volgtijden:

- De introductie van ISA heeft geen significant effect op de distributie van de volgtijden.

Effect op capaciteit:

- ISA heeft geen of hoogstens een klein negatief effect op de capaciteit.

Effect op inhalen:

- Introductie van ISA leidt tot minder rijstrookwisselingen.

Effect op verkeersveiligheid:

- Omdat er geen duidelijke daling van de gemiddelde snelheid of time-to-collision is aangetoond kunnen hieruit geen eenduidige conclusies getrokken worden.

⁵ Three microscopic models are used, in particular the Dutch model SIMONE (Minderhoud, 1999, and Minderhoud and Bovy, 1999) from the TRAIL/University of Delft, the English model SISTM of the Transport Research Laboratory (Stevens et al, 2000), and the Finnish model HUTSIM (Kosonen, 1999) developed by the Helsinki University of Technology.

- Als gevolg van een vermindering van extreem hoge snelheden, spreiding en inhaalbewegingen wordt van ISA wel een groot effect op de verkeersveiligheid verwacht.

Aangezien bovenstaande conclusies vrij algemeen zijn en betrekking hebben op verschillende verkeer- en wegsituaties wordt hieronder dieper ingegaan op de resultaten behaald met SIMONE op autosnelwegen en HUTSIM op een tweebaansweg met kruisingen in stedelijk gebied.

7.5.2 Microsimulaties met SIMONE

In *ADAS Impact Assessment by Micro-Simulation* (Hoogendoorn 2000) worden met het programma SIMONE voor verschillende type bottlenecks en penetratieniveaus de effecten van ISA en A(I)CC op het HWN bepaald. De conclusie luidt dat de effecten van ISA niet uitgesproken groot zijn. ISA heeft geen of hoogstens een klein negatief effect op de capaciteit afhankelijk van het snelheidsregime (overal 90 Km/h resp. eerste helft 90 km/h en tweede helft 70 km/h). Tevens tonen de simulaties met SIMONE aan dat ISA geen invloed heeft op het weefgedrag op een toerit naar de autosnelweg. Ook kon er geen substantiële bijdrage aan de betrouwbaarheid van de bottleneck vast gesteld worden. De verwachting was dat ISA significant zou bijdragen aan een verbetering van de verkeersveiligheid. Deze bijdrage is echter niet aangetoond met de gebruikte methode die uitgaat van blootstelling aan kritische en oncomfortabele time-to-collisions.

7.5.3 Microsimulaties met HUTSIM

Met HUTSIM is een deel van de Mannerheimintie in Helsinki gemodeleerd (ADVISORS 2002). Dit is een drukke tweebaansweg (770 m) met twee rijstroken per richting en vier geregelde kruisingen gelegen in een stedelijk gebied. De snelheidslimiet bedraagt 40 km/h. Dit type weg lijkt overeenkomsten te hebben met een Gebiedsontsluingsweg binnen de kom (GOW-bi). Na introductie van ISA in een 'medium flow' loopt de gemiddelde trajectnelheid op van ca 19 km/h naar ca. 22 km/h (bij een ISA-penetratie van 10% en 90%). In een 'high flow' loopt de gemiddelde trajectnelheid op van ca 17 km/h naar ca. 20 km/h (penetratie van 50% en 90%). Over de spreiding van de snelheden wordt helaas niets vermeld. Een opmerkelijk, maar discutabel resultaat is dat de afrijcapaciteit op een kruising (saturation flow: C) ongeveer evenredig blijkt toe te nemen met de ISA-penetratie (X in %): $C = 1940 + 3.7 \cdot X$ (in vgt/h). De onderzoekers menen hieruit af te kunnen leiden dat de minder grote snelheidsverschillen en het minder inhalen resulteren in een homogener verkeersstroom. De onderzoekers concluderen dat voor beide verkeerscondities de gemiddelde trajectnelheid afhankelijk van de ISA-penetratie toeneemt met 10 tot 30%. Tevens wordt geconcludeerd dat vanwege de toename van zowel de afrijcapaciteit als de gemiddelde snelheid de capaciteit van het gehele wegvak waarschijnlijk toe zal nemen na introductie van ISA.

7.5.4 Conclusie microsimulaties ADVISORS

In het ADVISORS-onderzoek worden algemene conclusies getrokken naar aanleiding van het simuleren van ISA in verschillende situaties en met drie verschillende microsimulatiemodellen. Deze conclusies zijn echter weinig concreet. Ten aanzien van de verkeersveiligheid wordt een groot effect verwacht als gevolg van een vermindering van extreem hoge snelheden, spreiding en inhaalbewegingen door ISA. De verbetering van de veiligheid is echter niet aangetoond aan de hand van time-to-collisions.

7.6 Vergelijking onderzoek

De uitkomsten van het EVSC-project van de Universiteit van Leeds en de ISA-trials in Tilburg en Zweden zijn moeilijk met elkaar te vergelijken vanwege het verschil in geteste ISA-systemen, wegtypen, projectopzet en onderzoeksmethodiek. Toch wijzen de globale effectschattingen in dezelfde richting. Afhankelijk van het ISA-systeem levert dit bij een penetratie van 60-100% in Leeds een reductie op van 15-30% van het aantal letselongevallen. Deze schatting is gebaseerd op de verlaging van de gemiddelde snelheden die gevonden werd in zowel de rijnsimulator, microsimulatie als op de openbare weg. In Zweden schat men de reductie van dit aantal ongevallen op 20-25% bij een penetratie van 100% ISA. Uitgaande van de bereikte verlaging van de gemiddelde snelheden in Tilburg wordt het algehele effect van een dwingend controlerend ISA met vaste limieten geschat op ca. 10% bij volledige penetratie. Afhankelijk van het wegtype en het type limiet ligt het effect tussen de 2 en 48% minder letselongevallen. Worden tevens de veiligheidseffecten van een rustiger rijgedrag, vermindering van het inhalen en meer aandacht voor kwetsbare verkeersdeelnemers in rekening gebracht dan schat men het totale effect op 'enkele tientallen procenten'. Tabel 7.11 geeft een overzicht van de risicoreductie bij volledige penetratie met ISA.

Tabel 7.11: Risicoreductie letselongevallen bij volledige penetratie met ISA.

ISA-project	Effect verlaging gem. snelheid	50 km/h	70-90 km/h	Alle effecten samen	Minimaal en maximaal
EVSC-Leeds	15-30%	--	--	--	14% en 48%
ISA-pilot Tilburg	10%	11-19%	--	'20-30%'	2% en 48%
ISA-trials Zweden	10-15%	12%	11-15%	20-25%	--

Met behulp van microsimulaties zijn verschillende effecten op het verkeersproces bepaald. De uitkomsten zijn niet met elkaar in overeenstemming. Tabel 7.12 toont de resultaten uit het EVSC-project Leeds (1) en ADVISORS (2). Terwijl op het stedelijk netwerk in Leeds de reistijd met ISA toenam was er op de stedelijke 2x2-baansweg in Helsinki juist sprake van een aanzienlijke daling in reistijd als gevolg van de toegenomen capaciteit. Zowel op het landelijke netwerk in Leeds als op de stedelijke weg in Helsinki nam het aantal inhaalbewegingen af. Alleen met betrekking tot de autosnelweg is onderzoek gedaan naar kritische en oncomfortabele time-to-collisions en is geen effect van ISA aangetoond.

Tabel 7.12: Overzicht resultaten microsimulatie EVSC-project Leeds (1) en ADVISORS (2)

Netwerk	Reistijd	Capaciteit	Inhalen	TTC's
stedelijk spits (1)	-	0	0	nvt.
stedelijk buiten spits (1)	-	nvt	0	nvt.
landelijk (1)	0/-	nvt	+	nvt.
autosnelweg (2)	0	0(/-)	nvt.	0
stedelijke 2x2-baansweg (2)	(++)	(++)	+	nvt.

negatief effect: -; geen effect: 0; positief effect: +.

7.7 Samenvatting literatuurstudie ISA-onderzoek

7.7.1 ISA-varianten

Uit testen op de openbare weg in Leeds (Carsten 2000) bleek dat bestuurders met een vrijwillige ISA het systeem uitschakelden als er de mogelijkheid was de snelheidslimiet te overschrijden. Dit bleek juist te gebeuren in situaties waar het systeem het meeste effect zou hebben. Een vergelijking tussen de geteste waarschuwendende en actief ondersteunende ISA-varianten in Zweden (Biding 2002) leert dat de overtredingen het meest afnemen met het actieve gaspedaal, maar de verschillen zijn gering. Het in Leeds geteste gesloten ISA-systeem, dat afremt voor het inrijden van een zone met lagere limiet, voorkomt het beste snelheidsovertredingen.

7.7.2 Verkeerstroomkenmerken

De resultaten uit de rijsimulator in Leeds, betreffende het volgen van langzame voertuigen op kortere afstand, werden niet bevestigd op de openbare weg. Ook in Zweden is er geen verandering in volgtijd geconstateerd. Ook is er geen verandering in wachtrijlengte of time-to-collisions aangetoond. In simulaties neemt het aantal inhaalmanoeuvres af op een landelijk netwerk in Leeds (-10%) en op een stedelijke weg in Helsinki (ADVISORS 2002). De effecten op de capaciteit zijn niet eenduidig.

7.7.3 Reistijd en rijgedrag

Theoretische berekeningen laten volgens de onderzoekers een toename in reistijd zien van een paar procent onder de aanname van ongewijzigd rijgedrag. Op het stedelijke netwerk in Leeds nam de gemiddelde reistijd toe met 2.6% bij volledige penetratie in de spits en met 6.4% buiten de spits. In Zweden is echter globaal een zeer marginale toename van de trajectnelheid geconstateerd.

De onderzoekers zoeken een verklaring hiervoor in een verandering van het rijgedrag. Bestuurders met ISA passen hun gedrag aan door rustiger te remmen, korter te stoppen en sneller te accelereren. Over het geheel genomen concluderen de onderzoekers in Leeds en Zweden dat de bestuurders niet probeerden hun lagere maximumsnelheid of verondersteld reistijdverlies te compenseren.

7.7.4 Kwetsbare verkeersdeelnemers

Metingen tonen aan dat de effecten van ISA groter zijn op een wegvak dan op een kruising. De meeste letselongevallen waarbij kwetsbare weggebruikers zijn betrokken gebeuren in Zweden op kruisingen in het OVN. Daarom is de verwachting dat het verkeersveiligheidseffect van ISA kleiner is voor kwetsbare weggebruikers dan voor automobilisten. Daar staat echter tegenover dat conflictstudies wijzen op een afname in zowel het aantal conflicten tussen motorvoertuigen onderling als met kwetsbare weggebruikers. De testrijders rapporteren ook een verbeterde aandacht voor kwetsbare verkeersdeelnemers.

7.7.5 Effect op verkeersveiligheid

De invloed van ISA is in Tilburg (AVV 2001) het grootst op wegvakken waar de inrichting uitnodigt tot hogere rijnsnelheden. Ten aanzien van de verkeersveiligheid wordt een groot effect verwacht als gevolg van een vermindering van hoge snelheden, spreiding en inhaalbewegingen door ISA. Al bij een penetratie van ca. 10% ISA-voertuigen, treden er effecten op in de snelheidsverdeling. In Zweden is het effect het grootst op 50- en 70 km/h-wegen. Dit zijn tevens de wegen met de meeste letselongevallen. ISA levert hier volgens de onderzoekers een substantiële bijdrage aan verbetering van de verkeersveiligheid.

Zowel de ongevalanalyses als de snelheidsmetingen in Zweden wijzen er op dat de ISA-voertuigen de andere weggebruikers positief beïnvloeden. Deze beïnvloedingseffecten dragen waarschijnlijk bij aan een grotere daling van het risico dan louter op grond van de ISA-penetratie te verwachten is.

Geconcludeerd kan worden dat met ISA de gemiddelde snelheid daalt en dat daarmee een effect op de verkeersveiligheid valt te verwachten van 10 à 30%. Dit effect kan echter niet bevestigd worden met behulp van time-to-collisions. Met betrekking tot de netwerkeffecten kan geen eenduidige conclusie getrokken worden.

Hoofdstuk 8 Simulatiestudie 'ISA op de Kruithuisweg'

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de opzet van de modelstudie besproken. Paragraaf 2 geeft een situatieschets van het te modelleren studiegebied van de Kruithuisweg. Het gebruikte microsимулатieprogramma VISSIM wordt besproken in paragraaf 3. In de vierde en vijfde paragraaf wordt beschreven hoe de Kruithuisweg en ISA zijn gemodelleerd in het microsimumlatiemodel VISSIM. In hoofdstuk 9 worden de uitkomsten van de simulatiestudie beschreven.

8.1 Opzet simulatiestudie 'ISA op de Kruithuisweg'

Deze paragraaf geeft een inleiding op de simulatiestudie en beschrijft het doel van de studie en het ISA-ontwerp. Aan de hand van prestatie-indicatoren kunnen de resultaten van de gesimuleerde scenario's in hoofdstuk 9 getoetst worden aan de geformuleerde hypothese.

8.1.1 Inleiding simulatiestudie

In het eerste deel van dit rapport zijn aan de hand van empirische ongevaldata de risico's bepaald van verschillende duurzaam-veilige wegcategorieën en is aangegeven van welke ADAS-toepassingen een bijdrage aan de verkeersveiligheid verwacht wordt. ISA bleek niet aan ongevalmanoeuvres te koppelen en daarom is het veiligheidseffect van ISA geschat op basis van de verwachte daling van de gemiddelde snelheid. De conclusie was dat op het onderliggende wegennet (OWN) m.n. ISA de veiligheid kan verhogen en dat ISA binnen 10 jaar op vrijwillige basis ingevoerd kan worden. Aangezien deze toepassing nog niet, of in ieder geval in onvoldoende mate in gebruik is, is microsimumlatie een geschikt instrument om de effecten op de efficiëntie en veiligheid van het verkeer te bepalen. Onder de efficiëntie-effecten worden zowel verandering in reistijd (effect voor reiziger) als capaciteit (effect voor wegbeheerder) verstaan. Met behulp van het simulatieprogramma kunnen tevens de veiligheidseffecten geschat worden aan de hand van de time-to-collision (TTC), het aantal rijstrookwisselingen en de verlaging van de gemiddelde snelheid. Hoewel een model altijd een beperkte weergave van de werkelijkheid is, heeft microsimumlatie voordelen ten opzichte van andere onderzoeksmethoden (kosten, tijd en veiligheid; keuzevrijheid in experimentele opzet, variatie van parameters, goede meetbaarheid etc.). Toepassing van ADAS op autosnelwegen is reeds veelvuldig gesimuleerd met behulp van speciaal ontwikkelde programmatuur. Programma's voor het modelleren van ADAS op het OWN zijn nog in ontwikkeling. In deze studie wordt ISA gemodelleerd in het microsimumlatieprogramma VISSIM en toegepast op de Kruithuisweg, een Gebiedsontsluitingsweg te Delft.

8.1.2 Probleem- en doelstelling simulatiestudie

-Probleemstelling

Uit de analyse van het veiligheidspotentieel uit het eerste deel van het rapport blijkt dat ISA een veiligheidswinst kan halen op het OWN. Over de effecten van deze toepassing op het OWN is echter weinig bekend. Bovendien zijn voor het bepalen van die effecten nog geen geschikte modellen beschikbaar.

-Doelstelling

Het doel van dit deelonderzoek is het simuleren van ISA op de gebiedsontsluitende Kruithuisweg in het microsimumlatieprogramma VISSIM ten einde inzicht te krijgen in de verkeerskundige en veiligheidseffecten van ISA op het OWN.

-Hypothese

De effecten van ISA hebben betrekking op zowel de veiligheid als de efficiëntie van het verkeersproces. Snelheidsbeheersing met ISA resulteert volgens het in hoofdstuk 7 beschreven onderzoek in lagere gemiddelde snelheden op wegvakken van het OWN. Effect op de snelheid op kruisingen is niet aangetoond. Afhankelijk van de penetratiegraad worden minder grote snelheidsverschillen verwacht en dus minder kritische en oncomfortabele TTC's. Ook afhankelijk van de penetratiegraad is het aantal inhaalbewegingen: bij lage penetratie met ISA zal het inhalen (door onbegrensde voertuigen) toenemen en bij hogere penetratie weer afnemen tot onder de uitgangssituatie. De snelheidsverlaging door ISA zal leiden tot een kleine toename van de reistijd buiten de spits. Gedurende de spitsperiode speelt de snelheidsbegrenzing door ISA een minder grote rol en daarom is er geen effect te

verwachten op zowel de reistijd als de capaciteit. De hypothese is hieronder puntsgewijs samengevat:

Effect ISA op Veiligheid:

- Gemiddelde snelheid: omlaag.
- TTC's: aantal kritisch en oncomfortabel daalt.
- Rijstrookwisselingen (inhalen): bij toenemende penetratie eerst een toename en later een afname.

Effect ISA op Efficiëntie:

- Reistijden (verkeerskwaliteit individuele bestuurder): buiten spits kleine toename, maar in de spits geen effect.
- Capaciteiten (verkeerskwaliteit wegbeheerder): geen effect.

8.1.3 ISA ontwerpeisen

Het type ISA-systeem dat voor ogen staat is een gesloten ISA zoals getest in Tilburg. Dit ISA-systeem neemt de controle over de snelheidskeuze over van de bestuurder als deze de snelheidslimiet overschrijdt (controlerend ISA). Er is geen mogelijkheid voor de bestuurder dit te 'overrulen' (dwingend ISA). Heeft het voertuig een lagere snelheid dan de limiet dan doet het systeem niets en heeft de bestuurder de volledige controle. Het systeem maakt gebruik van de bestaande snelheidslimieten van 50 km/h binnen de kom, 80 km/h buiten de bebouwde kom. Voor de kruisingen geldt een lagere limiet van 50 km/h (variabele limiet). De snelheidsbegrenzing wordt ingangezet zodra het voertuig versneld tot boven de snelheidslimiet of een zone-overgang (80->50) passeert. Het voertuig vertraagt dan met een comfortabele vertraging (default VISSIM: 2,5 à 3,0 m/s²). Wanneer het voertuig een zone-overgang naar een hogere limiet (50->80) passeert dan kan de bestuurder 'vrij' accelereren (default VISSIM: 0.9 à 3.3 m/s²) naar een gewenste snelheid totdat deze de nieuwe limiet overschrijdt. Figuur 7.1 toont de belangrijkste kenmerken van het ISA-systeem dat in deze simulatiestudie modelleerd wordt. Alle andere factoren blijven ongewijzigd.

Tabel 8.1: Kenmerken van het te simuleren ISA-systeem

ISA-systeem	Functionele kenmerken			Technische kenmerken	
	1. mate van Ondersteuning	2. mate van Vrijwilligheid	3. type Snelheidslimiet	5a. snelheidsbegrenzing	5b. acceleratie / deceleratie
'gesloten'	controlerend	dwingend	variabel (50 of 80 km/h)	vanaf zone-overgang	0.9 à 3.3 m/s ² -2.5 à -3.0 m/s ²

8.1.4 Parameters

De belangrijkste ontwerpparameters zijn dus de maximumsnelheidslimiet en de mate waarmee het systeem het voertuig vertraagt als de snelheid te hoog is. De snelheidslimiet zal naar verwachting geen invloed hebben op de capaciteit, waarschijnlijk wel op de reistijd buiten de spits. De snelheidslimiet heeft wel invloed op de gemiddelde snelheid en daarmee op de verkeersveiligheid. De vertraging zal geen invloed hebben op de capaciteit of reistijd. Wel heeft de mate van vertragen invloed op het ontstaan van schokgolven en daarmee op de verkeersveiligheid. Een andere belangrijke ontwerpparameter is het percentage voertuigen dat met ISA is uitgerust, ook wel de penetratie (graad) genoemd. Als de ISA-penetratie groot genoeg is dan zal ook de gemiddelde snelheid van de gewone voertuigen dalen. Dit zal leiden tot een daling in de spreiding van de snelheden en daarmee tot een homogener, stabielere en veiligere verkeerstream.

8.1.5 Scenario's

De scenario's die gesimuleerd worden hebben alle betrekking op dezelfde twee verkeerssituaties op de Kruithuisweg. De ene situatie speelt zich af in de spitsperiode tussen acht en negen uur in de ochtend en de andere in een periode buiten de spits waar het verkeersaanbod de helft is van de spits. De snelheidslimieten zijn gegeven per snelheidszone en veranderen niet in de tijd of per scenario. Ook de vertraging van de ISA-voertuigen ligt vast en verschilt niet van de gewone voertuigen. De enige ontwerpparameter die wijzigt per scenario is de ISA-penetratie. Als referentie (nul-situatie) wordt het verkeer zonder ISA op de Kruithuisweg gesimuleerd in en buiten de spits. Vervolgens wordt voor

beide situaties het verkeer gesimuleerd met oplopende ISA-penetratie: 10%, 20%, 30%, 50% en 95%.

8.1.6 Prestatie-indicatoren

Om de hypothese te toetsen worden de verschillende scenario's beoordeeld aan de hand van prestatie-indicatoren. In hoofdstuk 9 met de uitkomsten van de simulatiestudie worden deze indicatoren verder uitgewerkt, de resultaten besproken en teruggekoppeld.

Prestatie-indicatoren Veiligheid:

- Gemiddelde snelheid gemeten buiten de spits op de maatgevende kruising, halverwege een 80 km/h- wegvak en op een 50 km/h-wegvak.
- Aantal kritische en oncomfortabele TTC's zowel in als buiten de spits op het hele netwerk.
- Rijstrookwisselingen zowel in als buiten de spits op het hele netwerk.

Prestatie-indicatoren Efficiëntie:

- Reistijden zowel in als buiten de spits op 2 doorgaande routes en 2 kruisende routes
- Afrijcapaciteit op hoofdrichtingen maatgevende kruising (in de spits periode).

8.2 Situatieschets Kruithuisweg

Deze paragraaf beschrijft de keuze voor de Kruithuisweg als studie-object en schetst de inrichting en het verkeersproces.

8.2.1 OWN

De meest ruwe definitie van het OWN is: alle wegen uitgezonderd het HWN. Vaak doelt men echter op de hogere orde wegen. Het OWN werd in het begin van dit rapport gedefinieerd als:

- de verkeersaders buiten en binnen de bebouwde kom,
- buiten de kom verbinding tussen HWN en stedelijke centra,
- binnen de kom verbinding tussen en ontsluiting van belangrijke activiteitscentra,
- volgens Duurzaam Veilig (DV) is de functie ontsluiten,
- loopt niet door verblijfsgebieden.

In het plan *Bypasses voor bereikbaarheid* (Immers e.a. 2001) wordt een deel van het OWN opgewaardeerd tot OWN⁺. Dit vormt een samenhangend interregionaal netwerk als secundair stelsel naast en afgestemd op het HWN. In het OWN⁺-plan kiest TNOInro voor een variant op de Gebiedsontsluitingsweg volgens Duurzaam Veilig (GOW). Wel een dwarsprofiel met gescheiden rijbanen en twee rijstroken per rijbaan, maar een limiet van 70 km/h en kruisingen uitgevoerd als ongelijkvloerse Haarlemmermeer aansluiting. In het SWOV-rapport *Analyse van de veiligheidsaspecten van Bypasses voor bereikbaarheid* (Hummel, T, SWOV, nog niet gepubliceerd) wordt de vraag gesteld of weggebruikers zich vrijwillig aan de snelheidslimiet zullen houden zonder aanvullende maatregelen (diverse varianten van handhaving). Het voorlopige advies aan om Regionale Stroomwegen (RS), bestaande uit 2x1 rijstrook en ongelijkvloerse kruisingen, te prefereren boven de gekozen GOW-variant. Het ombouwen tot RS van de huidige wegen (veelal wegen met gesloten verklaring (WG) of verkeersaders (VA)) heeft echter zowel in financiële als ruimtelijke zin veel meer voeten in de aarde dan ombouwen tot GOW met tweestrooksrotondes (Turborotonde). ISA lijkt hier het gepaste instrument om de snelheid te handhaven.

8.2.2 Keuze Kruithuisweg

De Kruithuisweg (N470) in Delft is een belangrijk onderdeel in het huidige regionale netwerk in Zuid-Holland (noordelijk deel van de Zuidvleugel). Ook in toekomstige plannen van de Provincie vormt de N470 een schakel ter ontlasting van het HWN op regionale relaties en als voeding van het HWN bij interstedelijke/interregionale verplaatsingen. Ook maakt de N470 deel uit van het OWN⁺ in het plan van TNOInro. In het kader van Regiolab⁶ lopen diverse onderzoeken waarin de N470 onderwerp van studie is. De Kruithuisweg bestaat momenteel uit twee delen. Een niet-autoweg-gedeelte met een lengte van ca. 3 km en een autoweg-

⁶ Regiolab is een samenwerking tussen de TU Delft, sectie Verkeerskunde, diverse wegbeheerders (Rijkswaterstaat, gemeenten en provincie Zuid-Holland) en verkeersindustrie met als studiegebied het verkeer- en vervoernetwerk tussen Den Haag en Rotterdam. Doel van Regiolab is verkeersinformatie uit de regio Delft te verzamelen, integreren en te analyseren.

gedeelte van ca. 2.5 km. De eerste deel heeft een snelheidslimiet van 80 km/h en vier geregelde gelijkvloerse kruisingen. De autoweg kent een limiet van 100 km/h en ongelijkvloerse kruisingen. In deze simulatiestudie wordt het autoweg-gedeelte verder buiten beschouwing gelaten en de 80 km/h-weg als voorbeeld genomen. Dit gedeelte voldoet reeds aan de eisen die volgens Duurzaam Veilig aan een Gebiedsontsluitingsweg gesteld worden: rijbaanscheiding, alleen snelverkeer etc. en is dan ook een relatief veilige weg [statistieken] vergeleken met andere 80 km/h-wegen. Duurzaam Veilig geeft de voorkeur gelijkvloerse kruisingen uit te voeren als (tweestrooks)rotonde. Met nieuwe, innovatieve rotondevarianten wordt volop geëxperimenteerd in Zuid-Holland, voorbeelden hiervan zijn de Turbo-, Knie- en Kluiver-rotonde). Geregelde kruisingen zullen echter ook in de toekomst nog veel toegepast worden op GOW. Voor het bepalen van de effecten op het OWN van toekomstige ADAS-toepassingen als ISA lijkt de Kruithuisweg een relevant studieobject. ISA kan op een dergelijk wegtype een aantrekkelijk alternatief bieden voor snelheidsremmende maatregelen als rotondes, plateaus/drempels of handhaving.

8.2.3 Situatieschets Kruithuisweg

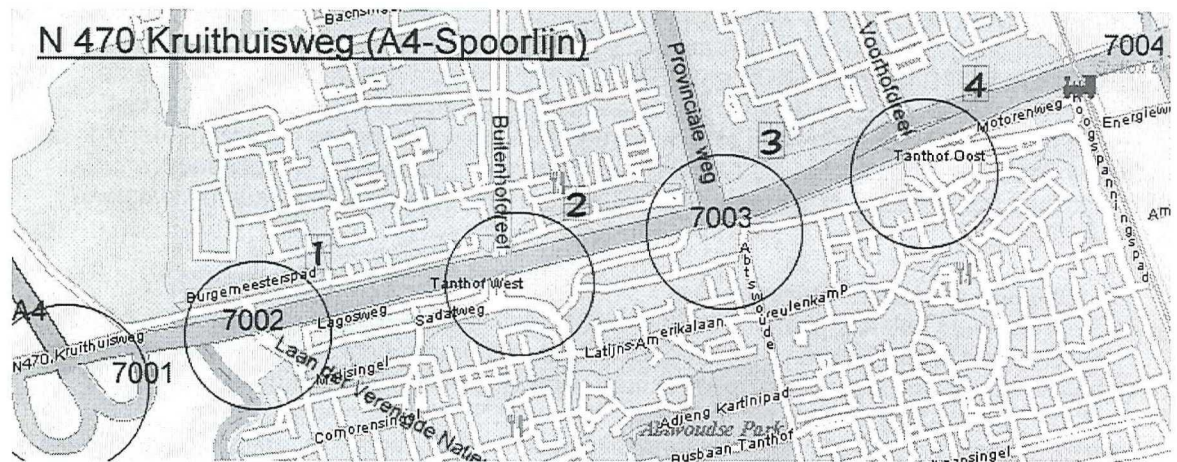
De Kruithuisweg (N470) ligt tussen het voorlopige eindpunt van de A4 ten westen en de A13 ten oosten van Delft. Tussen het spoor en de A13 is de Kruithuisweg (Oost) vormgegeven als autoweg met 2 x 2 stroken gescheiden door een vangrail en twee ongelijkvloerse kruisingen. Het niet-autoweggedeelte dat object is van deze studie ligt tussen de A4 en het viaduct over het spoor. Dit gedeelte van de Kruithuisweg (West) bestaat uit twee door een grasberm gescheiden rijbanen met ieder twee stroken met een snelheidslimiet van 80 km/h. Bij het naderen van de vier geregelde kruisingen gaat deze limiet over in 50 km/h. Volgens Duurzaam Veilig wordt dit type weg gecategoriseerd als Gebiedsontsluitingsweg (GOW). In de inventarisatie van haar wegen categoriseert de Provincie Zuid-Holland deze weg als *buiten* de bebouwde kom (GOW-bu). Daarentegen bestempelt het Stadsgebied Haaglanden in zijn inventarisatie de Kruithuisweg als Gebiedsontsluitingsweg *binnen* de kom (GOW-bi). Ter bepaling van de veiligheidseffecten van ADAS is in het eerste deel van het rapport uitgegaan van de categorisering van de Provincie.

Intermezzo *Drempels*

Vanaf ca. 2000 is de Provincie Zuid-Holland als beheerder van de weg begonnen met de aanleg van snelheidsverlagende drempels, ook wel plateaus genoemd. Het betreft hier een experiment van de Provincie Zuid-Holland dat onder andere ook wordt uitgevoerd op de N209 nabij Rotterdam Airport. In de zomer van 2002 zijn de laatste kruisingen voorzien van drempels over de gehele breedte van de rijbaan van de Kruithuisweg. De afstanden van de drempels tot de stopstreep zijn tamelijk willekeurig: daar waar het asfalt aan vervanging toe was(?), of daar waar een duiker of fietstunneltje al een hobbel in het wegdek vormde. In de eerste varianten van het VISSIM-model zijn deze drempels niet meegenomen. Later is een variant toegevoegd met drempels ter vergelijking met snelheidsverlaging door ISA. Dit VISSIM-model met drempels blijkt echter niet goed te werken (voertuigen remmen niet voldoende af voor de drempels) en is wegens tijdgebrek niet verder uitgewerkt en gesimuleerd. Het verdient aanbeveling voor een eventuele vervolgstudie dit model te verbeteren. Hiertoe dient contact gezocht te worden met de producent van VISSIM PTV of met gebruikers die wel met succes drempels hebben gemodelleerd in VISSIM.

8.2.4 Kruisingen

De aansluiting van de Kruithuisweg met de A4 is vormgegeven als een half-klaverblad en zolang de A4 nog niet zuidwaarts is doorgetrokken bestaat dit uit een op- en afritboog en een viaduct. Deze gelijkvloerse kruising (nr. 7001) van de op- en afrit van de A4 met de Kruithuisweg regelt voorlopig alleen (in afwachting van het doortrekken van de A4 naar Vlaardingen) het conflict tussen het verkeer komende uit westelijke richting van de A4 en het linksaf-slaande verkeer naar de A4. Rijdend over de Kruithuisweg in oostelijke richting passeert men achtereenvolgend de kruisingen met de Laan der Verenigde Naties (1. LdVN), de Buitenhofdreef (2. BHD), de Provinciale weg (3. PW) en de Voorhofdreef (4. VHD). Figuur 8.1 toont de Kruithuisweg tussen de A4 en het viaduct over het spoor richting de A13, de kruisingen zijn omcirkeld en genummerd.



Figuur 8.1: Kruithuisweg tussen de A4 en het viaduct over het spoor richting de A13.

Op de eerste kruising worden de conflicten geregeld tussen het verkeer op de Kruithuisweg (KHW) en de Laan der Verenigde Naties. De Laan der VN ontsluit het westelijke deel van de wijk Tanthof-West, gelegen ten zuiden van de KHW en het noordelijk gelegen Sportcomplex Kerkpolder en de woonstraat Burgemeestersdreef. De verkeersregelininstallaties (VRI's) van de kruising met de op- en afrit van de A4 en de kruising met de Laan der VN zijn onderling gekoppeld en in beheer bij de Provincie.

Verder naar het oosten ligt de tweede geregelde kruising. Hier kruist de KHW met de Buitenhofdreef. De Buitenhofdreef is uitgevoerd als Gebiedsontsluitingsweg binnen de kom met gescheiden rijbanen en geregelde kruisingen. Deze weg ontsluit het grootste deel van Tanthof-West ten zuiden en de wijk Buitenhof ten noorden van de KHW. In de middenberm van de Buitenhofdreef ligt het dubbele spoor van tramlijn 1. Openbaar vervoer komende uit de Buitenhof kan gebruikmaken van een busbaan (eenstrooks voorsorteervak). De VRI van deze kruising is in beheer bij de Gemeente Delft.

De derde kruising is een T-kruising en hier worden de conflicten geregeld tussen het verkeer op de Kruithuisweg en de Provinciale weg nr. 15 komende uit het noorden. Deze weg is in de inventarisatie van de Provincie Zuid-Holland getypeerd als Gebiedsontsluitingsweg binnen de kom. Op dit moment ligt de weg net als de Kruithuisweg echter buiten de kom en heeft meer het karakter van een Regionale Stroomweg (SP). De VRI is in beheer bij de Provincie. Eind 2002 zijn er aan de portalen camera's geplaatst die het verkeersaanbod detecteren. Het is nu mogelijk op afstand (in de controle kamer op het Provinciehuis) de locatie en lengte van deze 'optische' detectielussen te wijzigen.

De vierde gelijkvloerse kruising regelt de conflicten tussen het verkeer op de Kruithuisweg en de Voorhofdreef. Beide zijtakken van de kruising zijn uitgevoerd als Gebiedsontsluitingswegen binnen de kom met gescheiden rijbanen (2x2 GOW-bi). De zuidelijke tak van deze kruising ontsluit de woonwijk Tanthof-Oost en een kantorenpark. De noordelijke tak ontsluit o.a. de wijk Voorhof en het winkelcentrum In de Hoven. Evenals bij de kruising met de Buitenhofdreef is de VRI van deze kruising in beheer bij de Gemeente Delft.

8.2.5 Bottleneck

In de ochtendspits bouwt zich in westelijke richting een wachtrij op voor de kruising met de Voorhofdreef die een file vormt tot op de kruising met de Provinciale weg. Deze kruising wordt dan geblokkeerd (back-blocking). Dit stuk Kruithuisweg vormt de belangrijkste bottleneck en is maatgevend voor de (afrij-)capaciteit.

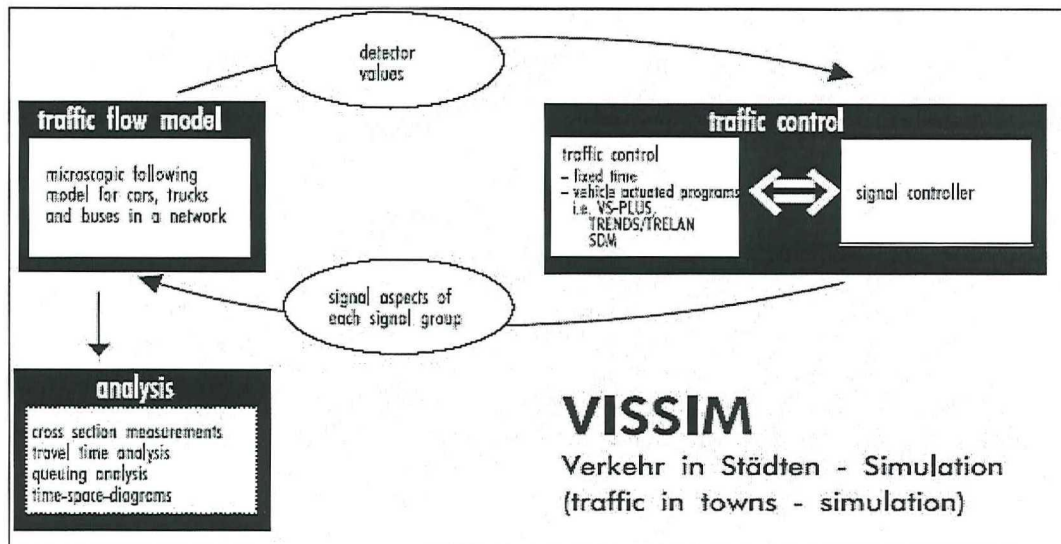
8.3 Microsimulatiemodel VISSIM

Deze paragraaf beschrijft de werking van het VISSIM simulatieprogramma en het voertuigvolgmodel dat gebruikt wordt. Alternatieven voor het gebruik van VISSIM zijn o.a. AIMSUM2, DRACULA, HUTSIM, PARAMICS en SISTM. De keuze voor VISSIM is gebaseerd op de criteria beschikbaarheid, ondersteuning en aansluiting op lopend onderzoek. Daarnaast speelt bij de SWOV de wens een simulatieprogramma aan te schaffen waarmee enerzijds op detailniveau DV-maatregelen als drempels en rotondes en anderzijds op netwerkniveau dynamisch routekeuzegedrag gemodelleerd kan worden. VISSIM voldoet aan deze criteria en wens.

8.3.1 VISSIM simulatieprogramma

VISSIM betekent letterlijk 'Verkehr In Städten-SIMulation' en is ontwikkeld door PTV in Karlsruhe, een onderdeel van SIEMENS Duitsland. Het programma VISSIM wordt wereldwijd gebruikt voor het analyseren en optimaliseren van verkeerskundige vraagstukken. VIALIS heeft het dealerschap voor de Nederlandse markt. VISSIM is een microscopisch, tijdgeoriënteerd en op rijgedrag gebaseerd simulatiemodel, speciaal ontwikkeld om stedelijke verkeers- en vervoersvraagstukken te evalueren. In VISSIM wordt een natuurgetrouw netwerk gebouwd door gebruik te maken van (CAD)tekeningen, luchtfoto's of GIS-bestanden. VISSIM kan netwerken aan tot 100.000 links, 5000 kruispunten en 5000 zones. Het voertuigmodel in VISSIM geeft een gedetailleerde nabootsing van de technische eigenschappen van een voertuig en het gedrag van de bestuurder. Hierdoor wordt het mogelijk willekeurige modaliteiten als auto, bus, vrachtwagen, voetgangers, fiets, tram en trein of zelf gedefinieerde typen weggebruikers met eigen rijstijl te simuleren. VISSIM berekent de intensiteit op het netwerk als gevolg van verkeersgedrag en verkeersmaatregelen. De capaciteit van de wegvakken is hier een gevolg van. Dit is een groot voordeel omdat de capaciteit vaak niet bekend is, of juist afhankelijk van de verkeersmaatregel moet worden voorspeld. Verkeerslichtenregelingen kunnen als starre of als voertuigafhankelijke regeling worden uitgevoerd. Het invoeren van complete dienstregelingen van het openbaar vervoer is mogelijk. Tijdens de simulatie is real time een animatie van het verkeersproces te volgen, terwijl na afloop van de simulatie diverse statistische gegevens worden gegenereerd, zoals bijvoorbeeld reistijd, wachtrij-lengte, snelheid, intensiteit en dichtheid.

Het simulatiepakket VISSIM bestaat uit twee verschillende programma's. De verkeerssimulatie is een microscopisch verkeersproces waarin voertuigen elkaar volgen en desgewenst kunnen inhalen. De verkeerslichtenapplicatie is een proces waarbij detectorinformatie afkomstig van de verkeerssimulatie iedere simulatiestap wordt doorgeven en verwerkt. Daarna wordt voor iedere volgende stap de stand van de signaalgroepen van de verkeerslichten teruggeven aan de verkeerssimulatie. VISSIM kan hierbij in de verkeerslichtenapplicatie met verschillende externe regelprogramma's communiceren. Figuur 8.2 toont schematisch de communicatie tussen simulatie en verkeerslichtenapplicatie.



Figuur 8.2: Communicatie tussen verkeerssimulatie en verkeerslichtenapplicatie in VISSIM

8.3.2 Wiedemann-model

Wezenlijk voor een goede verkeerssimulatie is de kwaliteit van de modellen van het verkeersproces, en hoe natuurgetrouw de weggebruikers in hun voertuigen door het netwerk rijden. In eenvoudige simulatieprogramma's hebben de voertuigen een vaste snelheid en rijden volgens een vast aankomstproces door het netwerk. Het verkeersstroom-model in VISSIM is een discreet, stochastisch, tijdstep-gebaseerd microscopische model met bestuurder-voertuig-combinaties als zelfstandige entiteiten. Onderdeel van het model is een psychisch-fysiek voertuig-volg-model voor de longitudinale voertuigbeweging en een op regels gebaseerd algoritme voor de laterale beweging. Het model is gebaseerd op het werk van Wiedemann waarin een psychisch-fysieke waarnemingsmodel wordt beschreven (Wiedemann 1974 en Wiedemann 1991). In VISSIM kan gekozen worden tussen twee versies van het Wiedemann-model. Wiedemann 74 is geschikt voor *urban traffic behavior* en Wiedemann 99 is geschikt voor *interurban (motorway) traffic*. Dit laatste model wordt in deze studie niet gebruikt en derhalve hier niet verder behandeld. Het Wiedemann-model gaat er vanuit dat een bestuurder die sneller rijdt begint met remmen indien hij volgens zijn eigen individuele waarneming een langzaam rijdend voertuig te dicht nadert. Omdat deze snelle bestuurder niet exact de snelheid van het langzaam rijdend voertuig kan inschatten zal de snelheid uiteindelijk lager worden dan de snelheid van het voor hem rijdend voertuig, waarna hij opnieuw volgens zijn eigen individuele waarneming zijn snelheid zal verhogen. Dit resulteert uiteindelijk in een iteratief proces van versnellen en vertragen. Een dergelijk model wordt ook wel aangeduid met de term 'action point model' of 'psycho-spacing model' (Hoogendoorn 2003).

8.3.3 Rij-toestand

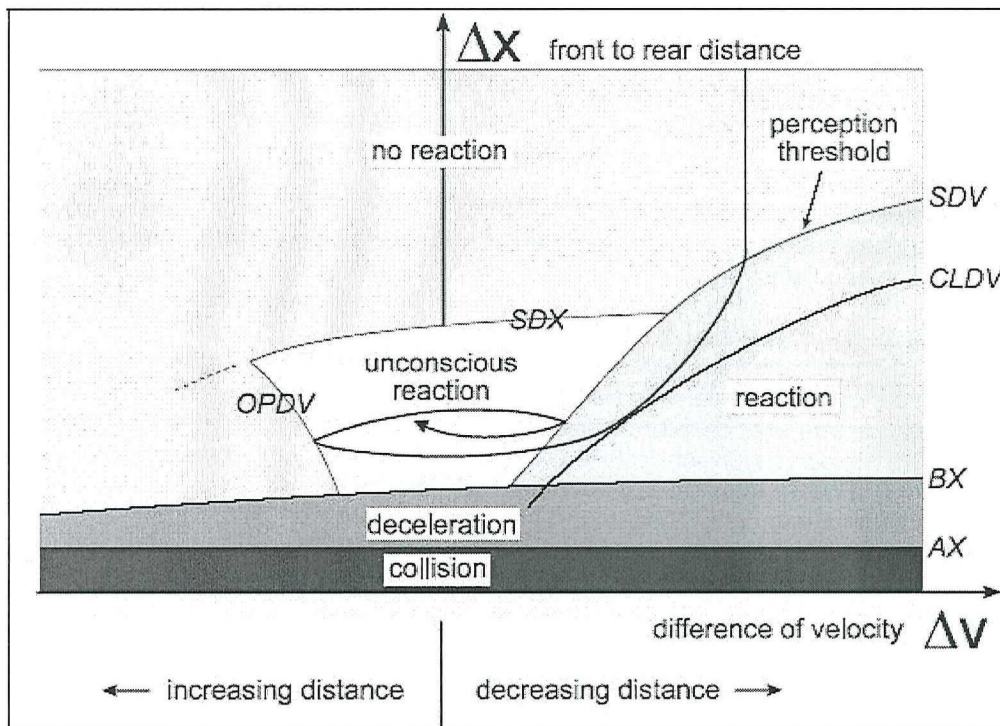
Het basis idee achter het Wiedemann-model is de aanname dat een bestuurder zich in vier rij-toestanden (modes) kan bevinden. Het in de voorgaande alinea beschreven proces wordt hieronder per toestand uitgewerkt:

- Vrij rijden*: geen invloed van voorgaande voertuigen. In deze toestand bereikt de bestuurder zijn wenssnelheid (desired speed) en probeert deze te behouden. In werkelijkheid is het moeilijk deze snelheid constant te houden en zal die schommelen (oscillatie) als gevolg van menselijke beperkingen in bediening van het gaspedaal en inschatting van de snelheid.
- Naderen*: het proces van aanpassing van eigen snelheid aan die van een voorganger. Tijdens het naderen zal de bestuurder zodanig decelereren dat het snelheidsverschil nul is op het moment dat zijn persoonlijk gewenste minimale volgafstand (desired safety distance) wordt bereikt.
- Volgen*: het proces van volgen van het voorgaande voertuig zonder bewuste snelheidsveranderingen. De bestuurder probeert zijn volgafstand min of meer constant te houden, maar wederom door beperkingen in gasgeven en inschatting van snelheid zal het

snelheidsverschil oscilleren rond de nul. Dit iteratieve proces van versnellen en vertragen wordt 'pendelen' genoemd.

-Remmen: het decelereren met matige tot hoge vertraging als de volgafstand kleiner wordt dan de gewenste minimale volgafstand. Dit kan gebeuren als het voorgaande voertuig plotseling zijn snelheid verlaagt of al er een derde voertuig tussen voegt.

Voor elke toestand is de acceleratie en deceleratie afhankelijk van de rijsnelheid, de volgafstand, het snelheidsverschil en de individuele karakteristieken van de bestuurder-voertuig-combinatie. De bestuurder schakelt van de ene toestand naar de andere zodra hij een bepaalde drempelwaarde (threshold) bereikt. Deze drempel is afhankelijk van het snelheidsverschil en de volgafstand (zie figuur 8.3). Zo kan een klein snelheidsverschil alleen bereikt worden bij een kleine volgafstand, terwijl een groot snelheidsverschil een naderende bestuurder dwingt veel eerder te reageren. Het vermogen snelheidsverschillen waar te nemen en afstanden in te schatten varieert over de populatie bestuurders. Dit geldt ook voor de gewenste minimale volgafstand en de wenssnelheid. Figuur 8.3 illustreert dit volgedrag.



Figuur 8.3 Voertuigvolgedrag volgens Wiedemann 1974 (Car following logic)

8.3.4 Waarneemdrempels

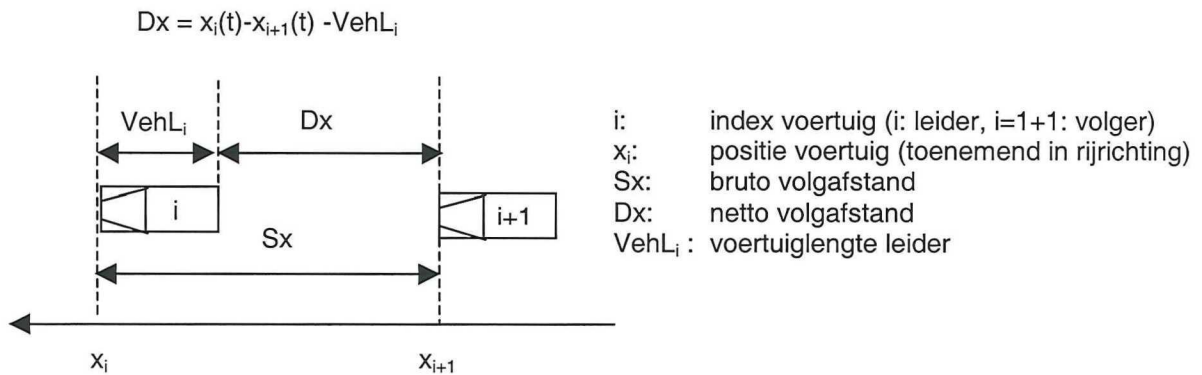
In *Simulation des Straßenverkehrsflusses* beschrijft Wiedemann (1974) het model en de bijbehorende waarneemdrempels (perception thresholds) als volgt:

$$DV = v_{i+1}(t) - v_i(t)$$

Verskil in snelheid tussen het volgende voertuig ($i+1$) en het leidende voertuig (i). DV is positief bij afnemende afstand tussen de voertuigen en negatief bij toenemende afstand.

$$DX = x_i(t) - x_{i+1}(t) - VehL_i$$

Werkelijke (netto) afstand tussen achterkant leider en voorkant volger (bumper tot bumper), waarin parameter VehL de lengte van het leidende voertuig is.



Figuur 8.4: Volgafstand tussen leidend en volgend voertuig op tijdstip t.

SDV = [(DX - AX)/CX]²

Waarneemdrempel voor snelheidsverschillen (bij relatief grote afstanden). Punt waar een bestuurder actie onderneemt bij het waarnemen van een langzamer voertuig. Met:

CX = 25*(1+RND1(i) + RND2(i))

Met RND1(i) wederom een normaalverdeelde factor die een maat is voor de persoonlijke 'veiligheidsbeleving/voorzichtigheid' en RND2(i) een normaalverdeelde factor die het vermogen om snelheidsverschillen in te schatten uitdrukt.

CLDV = SDV*EX²

Waarneemdrempel voor kleine snelheidsverschillen bij relatief kleine, afnemende afstanden.

OPDV = CLDV*(-1 - 2*RND3)

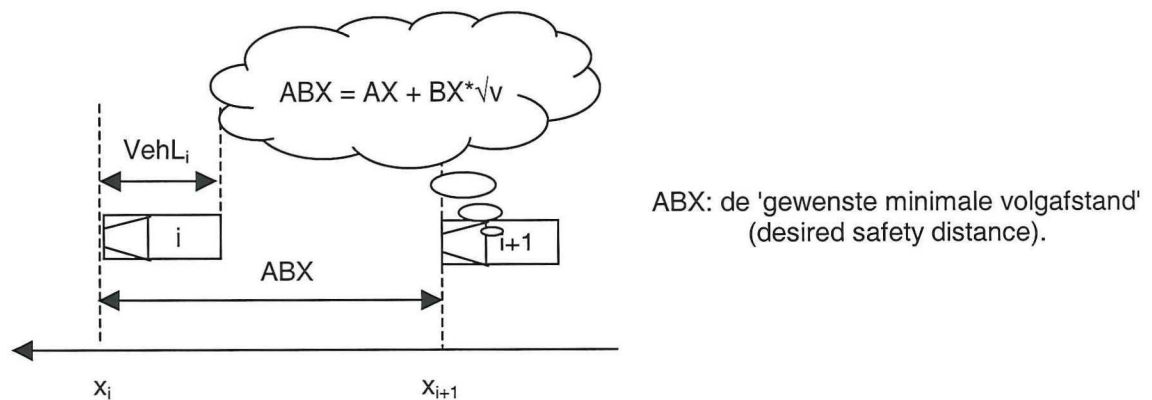
Waarneemdrempel voor kleine snelheidsverschillen bij relatief kleine, toenemende afstanden.

8.3.5 Gewenste minimale volgafstand

De afstand ten opzichte van een voorgaand voertuig die een individuele bestuurder toelaatbaar acht wordt de 'gewenste minimale volgafstand' (desired safety distance) genoemd:

ABX = AX + BX*√v

Bij naderen is de snelheid v_{i+1} (volger) maatgevend en bij toenemende volgafstand is v_i (leider) dat. Deze stochastische variabele is opgebouwd uit een constant deel en een snelheidsafhankelijk deel.



Figuur 8.5: Door bestuurder 'Gewenste minimale volgafstand' (desired safety distance) op tijdstip t.

AX = VehL + MinGap + AXMult * RND1(i)

Gewenste (bruto) afstand tussen de voorkanten bij stilstand, is samengesteld uit de voorgaande voertuiglengte (personenauto bijv. 4,5 m) plus de gewenste netto afstand bij stilstand (variërend tussen 1 en 3 m). Deze netto afstand is van bumper tot bumper en is opgebouwd uit een constante volgparameter MinGap en een 'veiligheids'factor AXMult*RND1 als maat voor de 'Sicherheitsbedürfnis' met RND1 normaalverdeeld N[0.5, 0.15].

BX = [1 + 7*RND1(i)]

Snelheidsafhankelijke deel van de gewenste minimale volgafstand volgens Wiedemann (1974). In de 'Technical Description' voor VISSIM is echter het snelheid afhankelijke deel van de gewenste minimale volgafstand:

BX = (BX_ADD + BX_MULT * RND1)

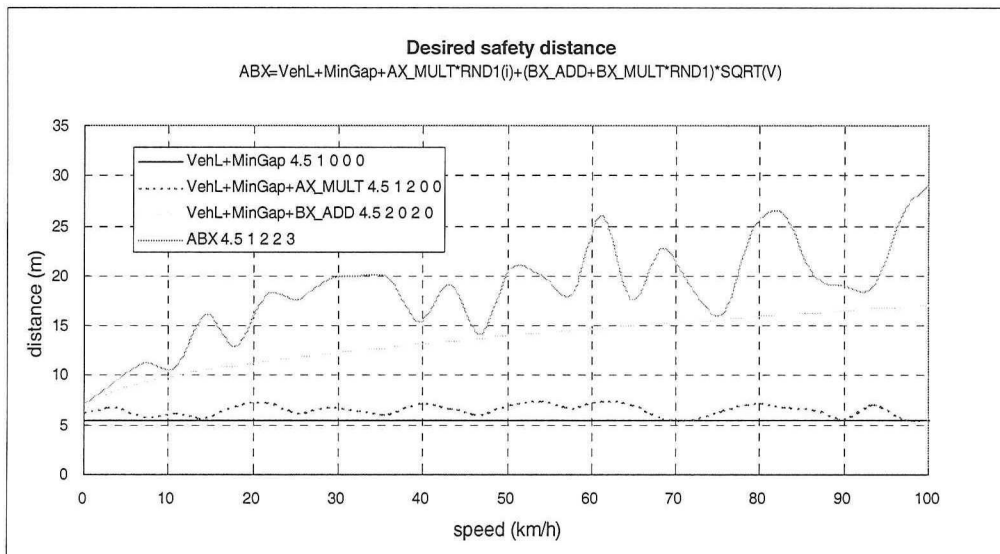
In VISSIM (3.50 en 3.60) is er de mogelijkheid om de volgende parameters te wijzigen:

BX_ADD = additive part of desired safety distance (default = 2.00)

BX_MULT = multiplic. part of desired safety distance (default = 3.00)

Average standstill distance (= MinGap+AX_MULT*RND) met vaste variatie van +/- 1m (default = 2.00m, dan is MinGap=1 en AX_MULT=2)

Figuur 8.6 toont de componenten waaruit de gewenste minimale volgafstand is opgebouwd. Voor de parameters zijn de volgende waarden als voorbeeld gekozen: VehL= 4,5 m, MinGap=1 m, AXMult=2 m, BX_ADD=2 en BX_MULT=3.



Figuur 8.6: Gewenste minimale volgafstand voor diverse parameterwaarden:

8.3.6 Wenssnelheid

Vanwege het stochastische karakter van het verkeer zijn in VISSIM de meeste parameters gedefinieerd als een kansdistributie i.p.v. een vaste waarde. Zo zijn er kansdistributies voor de wenssnelheid, het acceleratievermogen, het model type (lengte en breedte), het bouwjaar, het gewicht en het motorvermogen van het voertuig. In het model van de Kruithuisweg worden de standaard instellingen gebruikt. Een uitzondering hierop zijn de distributies van de wenssnelheid, die in dit model gedefinieerd zijn aan de hand van externe, empirische data. De wenssnelheid-distributie is een belangrijke parameter die invloed heeft op de gerealiseerde snelheid en capaciteit en op het van rijstrook wisselen. Een bestuurder wil altijd rijden met een snelheid overeenkomstig zijn wenssnelheid. Niet gehinderd door andere voertuigen zal hij deze wenssnelheid bereiken met een kleine variatie (oscillatie). Hoe meer

voertuigen verschillen in wensnelheid, hoe meer pelotons (platoons) er ontstaan. Als een bestuurder een langzamere voorligger (met een lagere snelheid dan zijn eigen wensnelheid) nadert, zal hij nagaan of er de mogelijkheid is in te halen zonder andere voertuigen te hinderen. Wensnelheid-distributies zijn gedefinieerd voor elk type voertuig en afhankelijk van de per wegvak geldende snelheidslimiet. In het model van de Kruithuisweg zijn er distributies voor een type (gewone) auto, voor vrachtauto's en bussen en voor de met ISA uitgeruste auto. Deze drie distributies verschillen voor de twee voorkomende snelheidslimieten (50 en 80 km/h) en een derde overgangsgebied (overgang van 80 naar 50 km/h-limiet). In het totaal zijn er negen verschillende distributies gedefinieerd. Elk voertuig dat het netwerk binnen komt krijgt een vaste percentiel-waarde voor de distributies toebedeeld. Is het percentiel 100% dan zal dit voertuig/deze bestuurder altijd de maximale wensnelheid uit de distributie krijgen tijdens zijn route door het netwerk.

8.3.7 Bestuurder-voertuig-eenheid

Elke bestuurder rijdt door het netwerk in zijn eigen voertuig met zijn eigen specifieke kenmerken. Hierdoor bestaat er ook een relatie tussen de technische mogelijkheden van de voertuigen en het gedrag van de bestuurders. Het attribuut dat een bestuurder-voertuig-eenheid beschrijft bestaat dan ook uit drie categorieën:

1. Technische specificaties van de voertuigen
 - Voertuiglengte
 - Maximum voertuigsnelheid
 - Acceleratie- en deceleratievermogen
 - Actuele voertuigpositie in het netwerk
 - Actuele snelheid en vermogen
2. Gedrag van bestuurder-voertuig-eenheid
 - Psychisch-fysieke waarnemingsgrenzen van de bestuurders (inschattingsvermogen, risicoacceptatie etc.)
 - Versnellen en vertragen gebaseerd op de huidige snelheid en de gewenste snelheid van de bestuurder
3. Onderlinge afhankelijkheid van bestuurder-voertuig-eenheden
 - Beïnvloeding door voor en achter rijdende voertuigen op eigen en naastgelegen rijstroken
 - Beïnvloeding door het netwerk van rijstroken en kruispunten
 - Beïnvloeding door verkeerslichten: voertuigen die verkeerslichten naderen vertonen een hogere oplettendheid binnen een gebied van 100 meter voor de stopstreep.

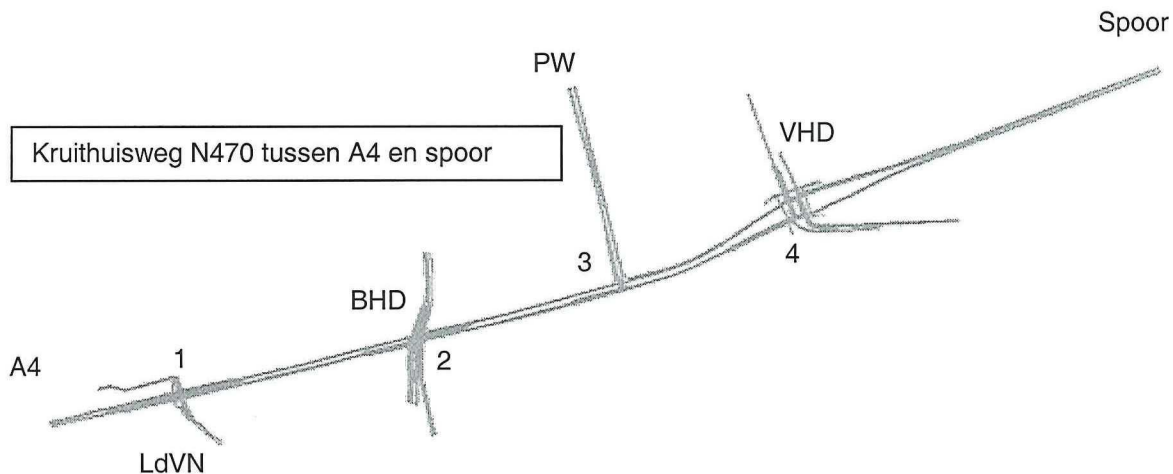
Het VISSIM-model is gekalibreerd aan de hand van verschillende onderzoeken van de Technische Universiteit van Karlsruhe, Duitsland. Periodieke praktijkmetingen zorgen voor een update van de diverse modelparameters. In deze studie is geen nader onderzoek gedaan naar de diverse parameterinstellingen en is afgezien van de wenssnelheden gebruik gemaakt van de standaard (default) parameterwaarden.

8.4 VISSIM-model Kruithuisweg

Deze paragraaf beschrijft het ontwerp van het VISSIM-model van de Kruithuisweg

8.4.1 Geometrie

De geometrie is bepaald aan de hand van ACAD-tekeingen van de Provincie en eigen metingen en waarnemingen op diverse locaties. De volg- en strookwisselmodellen in VISSIM houden geen rekening met rijstrook- en voertuigbreedte. Hoewel de breedte van een aantal voorsorteervakken varieert is daarom voor de breedte van alle rijstroken 3.5 m aangehouden. Figuur 8.7 toont de geometrie van Kruithuisweg en zijtakken in het model tussen A4 en spoorviaduct. De kruisingen zijn genummerd van West naar Oost.



Figuur 8.7: Geometrisch model van Kruithuisweg tussen A4 en spoorviaduct.

8.4.2 Verkeersvraag en compositie

Voor het bepalen van de herkomst-bestemmingsmatrix en de intensiteiten op de wegvakken in de spits en daar buiten, is gebruikgemaakt van gegevens over 1999 uit verkeersonderzoek in opdracht van o.a. de Provincie Zuid-Holland (Verkeersonderzoek Westland 1999 en Bretel 2002). Tabel 8.1 toont de herkomst-bestemmingsmatrix in de spits (8h00-9h00)

Tabel 8.1: Herkomst-bestemmingsmatrix spits (8h00-9h00)

naar van\	input vgt/h	A4	LdVN- noord	LdVN- zuid	BHD- noord	BHD- zuid	PW	VHD- noord	VHD- zuid	Spoor/ A13
A4	1183	~	118	118	95	95	200	28	28	502
LdVN-n	174	38	~	17	12	12	25	3	3	63
LdVN-z	174	38	17	~	12	12	25	3	3	63
BHD-n	459	34	4	4	~	100	83	12	12	209
BHD-z	876	34	4	4	200	~	167	23	23	419
PW	998	40	5	5	20	30	~	45	45	807
VHD-n	670	23	3	3	11	17	44	~	101	469
VHD-z	670	23	3	3	11	17	44	101	~	469
Spoor/A13	2000	248	31	31	124	186	480	800	100	~

Uit bovengenoemd verkeersonderzoek is tevens de compositie van het verkeer afgeleid. Ter vereenvoudiging zijn de 5 in dat onderzoek gebruikte voertuig-categorieën samengevoegd tot 3 voertuigklassen in VISSIM: auto (Car), vrachtauto (HGV) en bus (Bus). In de nulsituatie (geen ISA) bestaat de compositie uit 95% auto's, 4% vrachtverkeer en 1% bussen. Voor het Modelleren van ISA is een vierde voertuigklasse gedefinieerd in VISSIM. Deze zogenaamde ISA-auto (ISA) heeft de zelfde karakteristieken als de gewone auto, maar kent eigen distributies voor de wensnelheid. Bij oplopende penetratie met ISA-voertuigen neemt het aandeel gewone auto's in gelijke mate af, maar blijft het aandeel vrachtverkeer en bussen steeds gelijk. Hierbij is aangenomen dat alleen de auto's uitgerust worden met ISA. Het verdient aanbeveling op in eventueel vervolgonderzoek tevens het vrachtverkeer en de

bussen door ISA te laten begrenzen. Het is realistischer te veronderstellen dat juist ook het beroepsvervoer bij de invoering van ISA wordt betrokken. Tabel 8.2 toont de klassenindeling met bijbehorende compositie.

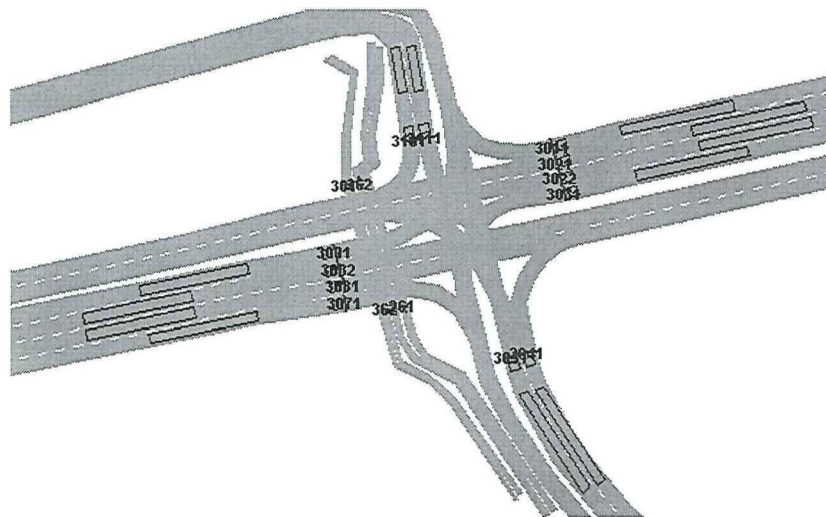
Tabel 8.2: Indeling klassen met compositie van het verkeer, afhankelijk van penetratie ISA.

voertuig-klasse	voertuigcategorie uit verkeersonderzoek	VISSIM-klasse	(gewoon verkeer)	aandeel in compositie				
ISA-auto	~	ISA	0%	10%	20%	30%	50%	95%
auto	motoren, lichte vrachten personenauto's	Car	95%	85%	75%	65%	45%	0%
vrachtauto	zware vrachtauto's	HGV	4%	4%	4%	4%	4%	4%
bus	bussen	Bus	1%	1%	1%	1%	1%	1%

8.4.3 Kruisingen en VRI's

1^e Kruising: Kruithuisweg met Laan der VN

De twee VRI's van de kruisingen met de A4 en Laan der VN zijn gekoppeld en in beheer bij de Provincie. De kruising met de A4 is niet opgenomen in het VISSIM-model. Voor de kruising met de Laan der Verenigde Naties is met behulp van VRIGEN (VRI-generator) een dynamische verkeersregeling gemaakt in TRAFCOD (Traffic Controller Design). Tijdens het maken van het VISSIM-model kon er niet beschikt worden over de originele Ccol-regelaars van de Provincie.

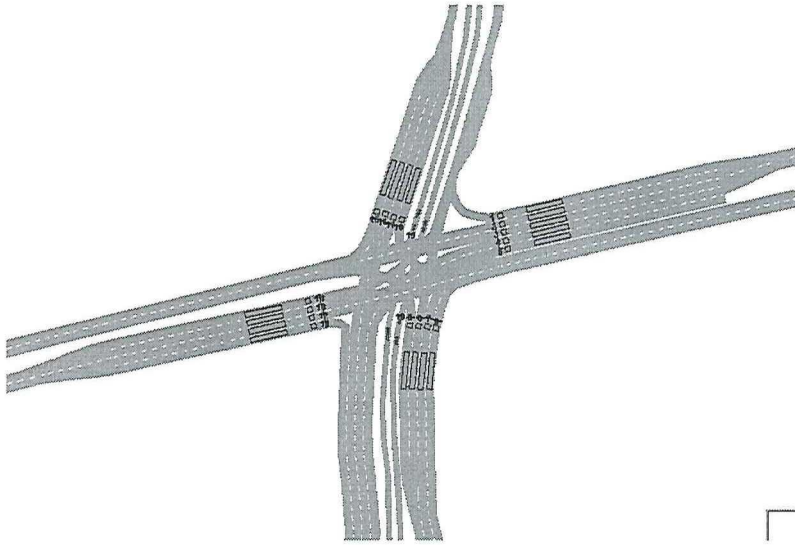


Figuur 8.8: VRI kruising Kruithuisweg met Laan der VN

Verklaring codes in figuur x: Verkeerslichtnummer 3011 betekent: VRI kruising SCJ 3 (code VISSIM voor de 1^e kruising), richting/groep 02, verkeerslicht 2 (boven linker strook rechtdoor). In blauw zijn de detectorlussen aangegeven.

2^e Kruising: Kruithuisweg met Buitenhofdreef

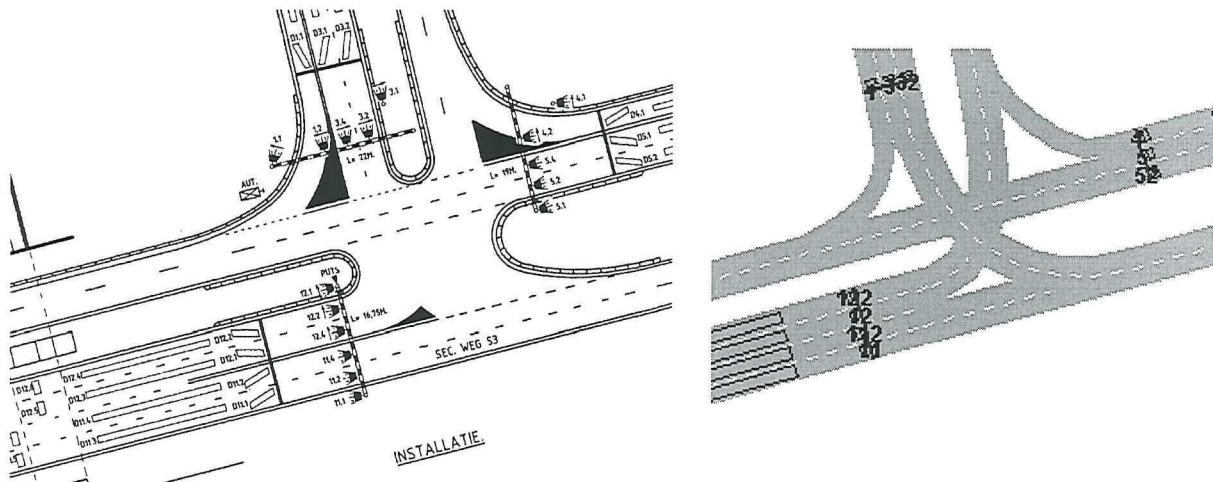
De VRI van de kruising met de Buitenhofdreef is in beheer bij de Gemeente Delft. In afwachting van deze regelaar is een voorlopige TRAFCOD-regeling gemaakt (VRIGEN is nog volop in ontwikkeling en blijkt nogal wat onvolkomenheden te bevatten. Zo konden voor deze kruising geen conflicten met fietsers en voetgangers toegevoegd worden. In de nieuwste VRIGEN versie zijn deze problemen opgelost).



Figuur 8.9: VRI kruising Kruithuisweg met BHD

3^e Kruising: Kruithuisweg met Provinciale weg

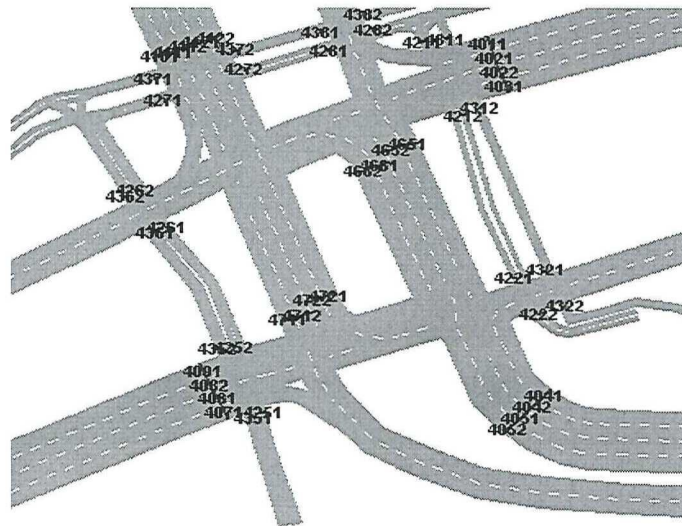
De VRI van de kruising met de Provinciale weg is in beheer bij de Provincie en de regeling is geprogrammeerd in Ccol. In het VISSIM-model van de Kruithuisweg is de originele versie gebruikt. In de (ochtend)spits wordt er een file opgebouwd vanaf de kruising met de Voorhofdreef die de kruising met de PW kan blokkeren. In het VISSIM-model zijn hiervoor zogenaamde voorrangsregels toegevoegd die de conflicten regelen tussen de VRI geregelde verkeersstromen en het stilstaande of langzaam rijdende verkeer in de file op de kruising.



Figuur 8.10: VRI kruising Kruithuisweg met PW

4^e Kruising: Kruithuisweg met Voorhofdreef

Evenals bij de kruising met de Buitenhofdreef is de VRI van de kruising met de Voorhofdreef in beheer bij de Gemeente Delft. Er is getracht een voertuigafhankelijke TRAFCOD-regeling te maken m.b.v. VRIGEN. Gegeven de geometrie van deze kruising (opstelstroken voor rechtdoor en linksaf (buffers) in de brede middenberm van de Kruithuisweg) bleek het echter niet mogelijk om met de beschikbare versie van VRIGEN een goed werkende voertuigafhankelijke regeling te modelleren. Daarom is een statische regeling gemaakt met VISSIM's eigen verkeerslichtenregeling. Gedurende de spitsperiode is het gebruik van een starre regeling geen probleem en heeft het als bijkomend voordeel dat de simulatierun van het model sneller verloopt.



Figuur 8.11: VRI kruising Kruithuisweg met VHD (SCJ 4)

Wegens personele omstandigheden konden de toegezegde Ccol-regelingen van de gemeente Delft niet beschikbaar gesteld worden en maakt het model tijdelijk gebruik van twee TRAFCOD-regelingen en een starre VISSIM-regeling. In het kader van Regiolab wordt gewerkt aan verbetering van het model. De gemeente Delft beschikt momenteel over een VISSIM-model gebouwd door VIALIS waarin tevens de Kruithuisweg is opgenomen. Ook dit model is echter nog verre van optimaal.

Tabel 8.3: Verschillen VISSIM-model met situatie in 1999 (intensiteitsmetingen) en situatie eind 2002

	VISSIM-model	Situatie 1999	Situatie 2002
verkeersdrempels	nee	nee	ja
50km/h limiet bij kruisingen	ja	Niet overal	ja
VRI VHD	VISSIM (star)	Ccol-gemeente Delft	Ccol-Delft
VRI PW	Ccol-Provincie (2002)	Ccol-Provincie oudere versie	Ccol-Provincie (2002)
VRI BHD	TRAFCOD	Ccol-Delft	Ccol-Delft
VRI LdVN	TRAFCOD		Ccol-Provincie(2002)

8.4.4 Simulatie run

De externe TRAFCOD- en Ccol-regelingen communiceren elke seconde met de verkeerslichten in VISSIM. Elke extra externe (TRAFCOD)regeling verlengt de simulatieduur met ongeveer 25%. Het simuleren van 1 uur in het VISSIM-model van de KHW met drie dynamische regelingen (twee TRAFCOD-, een Ccol-regeling) en een starre regeling (interne VISSIM-regeling) duurt op een 1.8GHz-systeem ongeveer 45 minuten en op een 800 MHz-systeem 75 minuten. Met het VISSIM-model van de Kruithuisweg zijn 6 varianten gesimuleerd: een nulvariant en varianten met 10, 20, 30, 50 en 95% ISA. Elke variant is minimaal 6 keer gerund met verschillende kiemgetallen. Bij de sectie Verkeerskunde waren twee versies van VISSIM (V3.60-05 en V3.61-06) in gebruik. Modellen gemaakt met de nieuwste versie kunnen niet gerund worden op de oude versie. Andersom kan wel, alleen bleek dat andere uitkomsten op te leveren. In beide versies zitten een aantal bugs, deze verschillen echter per versie. Een belangrijk fundamenteel verschil zit in het strookwisselgedrag (lane change behaviour). De producent van het programma (PTV) geeft hier echter geen inzicht in. De simulaties (minimaal 3) waar dit rapport betrekking op heeft zijn daarom (in tweede instantie) allemaal gerund met versie V3.60-05 op een 800 MHz Pentium 3 met 128 Mb intern geheugen.

8.4.5 Toetsing model aan de werkelijkheid

Tijdens het ontwerp zijn intensiteit- en snelheidsmetingen en de lengte van wachtrijen gebruikt om het model zo realistisch mogelijk te maken. Om gegeven de spitsintensiteit, de wachtrijlengte in de ochtendpiek in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid (kalibratie) zijn de groentijden voor de hoofdrichtingen op de kruising met de Voorhofdreef verlengd ten opzichte van de optimale regeling. De in het model gereden snelheden op het meetpunt op de kruising met de Voorhofdreef (verkeer op de twee doorgaande stroken, komende uit het oosten) komt echter niet helemaal overeen met de snelheidsverdeling van de meting op de rechter rijstrook door de Provincie in 1998. Tabel 8.4 toont de bijbehorende snelheidsverdelingen.

Tabel 8.4 Gemeten en gesimuleerde snelheidsverdelingen Kruising KHW met VHD (richting 02)

Kruising 4: KHW met VHD richting 02	Meting: rechter rijstrook, wachtstand Groen		Simulatie: meetpunt 3 twee rijstroken	
	8.00-9.00	0.00-24.00	spits	dal
Tijdstip:	8.00-9.00	0.00-24.00	spits	dal
Maximum snelheidlimiet	50	50	50	50
Gemiddelde snelheid	44.5	46.5	50	49.5
15-percentieel	36.3	37.0	40	36.2
Mediaan	43.0	44.0	47	46.7
85-percentieel	50.0	56.0	55	54.7
Meetperiode	19-5-1998		invoerdata uit 1999	

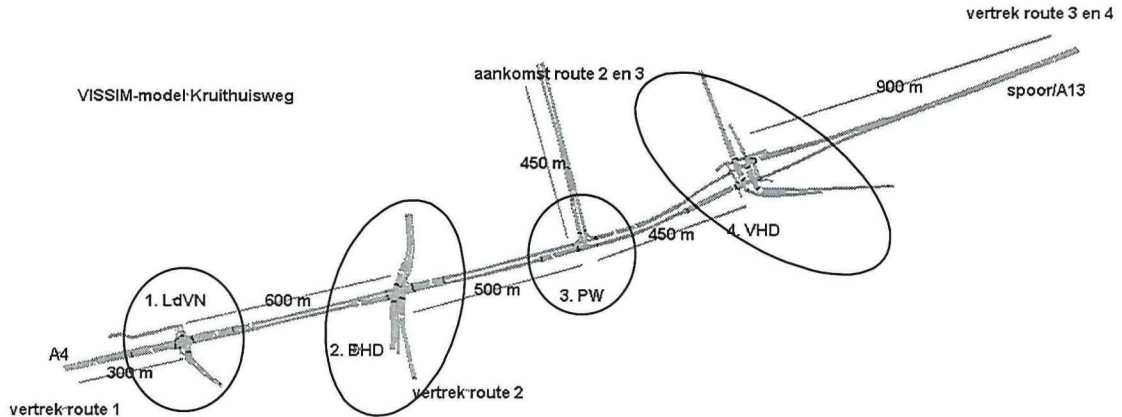
Het verschil tussen meting (werkelijkheid) en simulatie (model) kan verklaart worden uit het feit dat de lokale meting van de provincie Zuid-Holland plaats vond op de rechter rijstrook en dat de waarden uit het model betrekking hebben op beide rijstroken. Aangezien de snelheden op de linker rijstrook doorgaans hoger liggen dan op de rechter levert dit een andere snelheidsverdeling. Het bleek echter niet mogelijk om uit de VISSIM-uitvoer alsnog de waarden voor de rechtersijstrook te isoleren. Hiertoe dient in het model een extra meetpunt ingevoerd te worden. Het verdient aanbeveling dit in een eventuele vervolgsimulatie als nog te doen met het oog op een betere kalibratie van het model. Een ander probleem dat een rol kan spelen is de onduidelijkheid over de precieze locatie van het meetpunt: 20 m achter de stopstreep (meetpunt 3 in model) of 5 m achter het VRI-portaal (meting Provincie). Ook dient opgemerkt te worden dat de snelheidsverdeling in de VISSIM-uitvoer ingedeeld is in klassen. De in tabel 8.4 getoonde waarden zijn verkregen via lineaire interpolatie tussen de klassegrenzen en zijn daardoor niet zo nauwkeurig.

8.5 ISA in VISSIM-model Kruithuisweg

Deze paragraaf beschrijft hoe ISA gemodelleerd is in het VISSIM-model van de Kruithuisweg met behulp van specifieke distributies voor de wensnelheid van ISA-voertuigen. Alle andere factoren blijven ongewijzigd. In hoofdstuk 7 komt o.a. naar voren dat bestuurders met ISA beter (voetgangers) waarnemen. Dit heeft o.a. invloed op de waarneemdrempels in Wiedeman. VISSIM 3.60 kent echter niet de mogelijkheid deze parameters te wijzigen.

8.5.1 Snelheidslimiet

Op de Kruithuisweg en de Provinciale weg is de snelheidslimiet 80 km/h, bij het naderen van de kruisingen gaat de limiet omlaag naar 50 km/h. In de meeste gevallen staat het verkeersbord met deze limiet bij het begin van de voorsorteervakken. Alle zijtakken liggen binnen de bebouwde kom en kennen een limiet van 50 km/h. Figuur 8.12 toont de snelheidslimieten in het model van de Kruithuisweg.



Figuur 8.12: 50 km/h-snelheidslimiet op zijtakken en naderen kruisingen (omcirkeld), op de overige wegvakken is de limiet 80 km/h.

8.5.2 Wenssnelheid per voertuigklasse en limiet

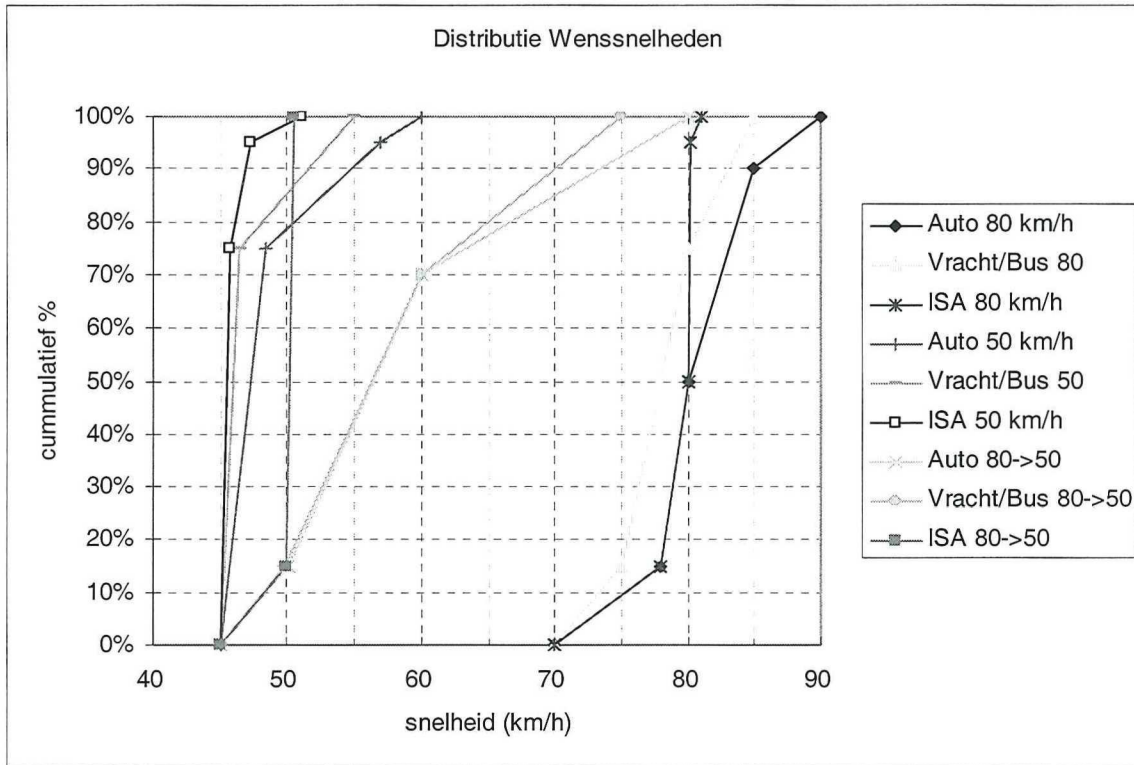
Aangezien in de praktijk niet elke bestuurder precies met deze limietsnelheid rijdt werkt VISSIM met een zogenaamde wenssnelheid. Elk voertuig krijgt een willekeurige (random) wenssnelheid toebedeeld uit een snelheidsdistributie die afhangt van de geldende limiet of limietovergang en van de voertuigklasse. Zo is er een distributie voor de 80 km/h-wegen buiten de kom, de 50 km/h-wegen binnen de kom en voor de overgang van 80 naar 50 bij het naderen van de kruisingen buiten de kom. Ook wordt er onderscheid gemaakt tussen snelheidsdistributies voor auto en voor vrachtauto's en bussen. In totaal zijn er 6 verschillende distributies van de wenssnelheid die het snelheidskeuzegedrag modelleren. Voor het modelleren van ISA in VISSIM zijn drie extra distributies toegevoegd. Het type ISA dat voor ogen staat is vergelijkbaar met het gesloten systeem dat in de ISA-pilot in Tilburg is getest: een controlerend, dwingend systeem met variabele limieten (zie § 8.1.3). Het ISA-systeem remt niet extra af vergeleken met een gewone auto en reageert pas op een limietwijziging na het passeren van een zone-overgang. De acceleratie- en deceleratiedistributies in VISSIM blijven daarom ongewijzigd. Er is aangenomen dat de begrensde bestuurders hun lagere snelheid niet compenseren door, waar het nog kan, harder te rijden dan zonder begrenzing het geval zou zijn geweest (gebaseerd op conclusie H7). De gegevens over zowel de onbegrensde als begrensde snelheid bij een limiet van 50 in het ISA-pilot in Tilburg (75- en 95-percentielen uit: AVV 2001) zijn gebruikt voor de snelheidsdistributie van de gewone, onbegrensde auto en voor het begrensde ISA-voertuig. Het verdient aanbeveling in een eventuele vervolgstudie hier metingen uit Delft zelf voor te gebruiken en de snelheidsdistributie van het ISA-voertuig af te kappen op 50 km/h. De wenssnelheid-distributie voor de 80-limiet is gebaseerd op een steekproef op de Kruithuisweg. Voor de distributie bij de overgang van 80 naar 50 bij nadering van een kruising, is gebruik gemaakt van snelheidsmetingen van de Provincie op de kruising met de Voorhofdreef. De distributie voor het ISA-voertuig volgt die van de auto, maar is afgekapt op 50 km/h. De snelheidsdistributies voor vrachtauto's en bussen zijn afgeleid van die voor de auto's. Tabel 8.5: toont het bereik van de wenssnelheid (minimum en maximum waarde).

Tabel 8.5: Bereik wenssnelheid (minimum en maximum waarde)

Bereik (snelheid in km/h)	snelheidslimiet			
	voertuigklasse	80 km/h	50 km/h	80->50km/h
Auto	70-90	45-60	45-80	
Vracht/Bus	70-85	45-55	45-75	
ISA	70-81	45-51	45-50.5	

Figuur 8.13 toont de gebruikte distributie voor de wenssnelheid voor 3 type voertuigen en 3 snelheidsregimes. Bijlage 8 toont de plaatjes van de snelheidsdistributies zoals die ingevoerd

zijn in VISSIM. Het verdient aanbeveling in vervolgstudies een betere methode te zoeken voor het omzetten van empirische snelheidsgegevens in wenssnelheidsdistributies.



Figuur 8.13 Distributie voor de wenssnelheid voor 3 type voertuigen en 3 snelheidsregimes

Hoofdstuk 9 Resultaten simulatiestudie

In het VISSIM-model van de Kruithuisweg zijn varianten met oplopende percentages ISA-voertuigen gesimuleerd. In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van deze simulaties besproken en geëvalueerd aan de hand van de prestatie-indicatoren. De uitkomsten worden tevens vergeleken met resultaten uit het in hoofdstuk 7 beschreven ISA-onderzoek.

9.1 Veiligheid en efficiëntie van het verkeersproces

Het doel van het VISSIM-model van de Kruithuisweg is het verkrijgen van inzicht in de verkeerskundige effecten na de introductie van ISA op het OVN. Hiertoe zijn in hoofdstuk 8, aan de hand van de hypothese, prestatie-indicatoren opgesteld. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen effecten op de veiligheid en de efficiëntie van het verkeer. De veiligheidseffecten worden geschat aan de hand van de verlaging van de gemiddelde snelheid en spreiding, de time-to-collision (TTC) en het aantal rijstrookwisselingen. De efficiëntie-effecten worden bepaald aan de hand van zowel de verandering in reistijd (verkeerskwaliteit individuele bestuurder) als de verandering in capaciteit (verkeerskwaliteit wegbeheerder). Het model genereert per simulatierun een zestal uitvoerbestanden met data ter kwantificering van bovengenoemde aspecten.

Output model:

Veiligheid

- Snelheidsdistributie: Speed and #Vehicles at Data Collection Point (.mes-files)
- Volgafstand en volgsnelheid ter bepaling van kritische en oncomfortabele TTC's: Vehicle Record Output (.fzp-files)
- Rijstrookwisselingen/Inhalen: Lane Change Evaluation Table (.spw-files)

Efficiëntie

- Capaciteit: #Vehicles at Data Collection Point (.mes-files) en Link Evaluation (.str-files; wel gegenereerd, maar niet uitgewerkt).
- Reistijden: Travel Times at Routes (.rsz-files)
- Wachrijen: Queue Lengths at Counters (.stz-files; wel gegenereerd, maar niet uitgewerkt).

Met het VISSIM-model van de Kruithuisweg zijn 6 varianten gesimuleerd: een nul-variant en varianten met 10, 20, 30, 50 en 95% ISA. Elke variant is minimaal 6 keer gerund met verschillende kiemgetallen. Alleen de resultaten uit de simulatieruns in VISSIM versie 3.60-05 worden in dit hoofdstuk geanalyseerd (3 runs per variant; zie hiervoor ook paragraaf 8.4.4). Ten behoeve van het bepalen van de capaciteit zijn 5 extra simulaties uitgevoerd. In totaal zijn 210 VISSIM-uitvoerbestanden in MS Excel verwerkt. In de volgende paragrafen worden deze uitkomsten besproken en indien mogelijk vergeleken met resultaten uit ander onderzoek.

9.2 Snelheid

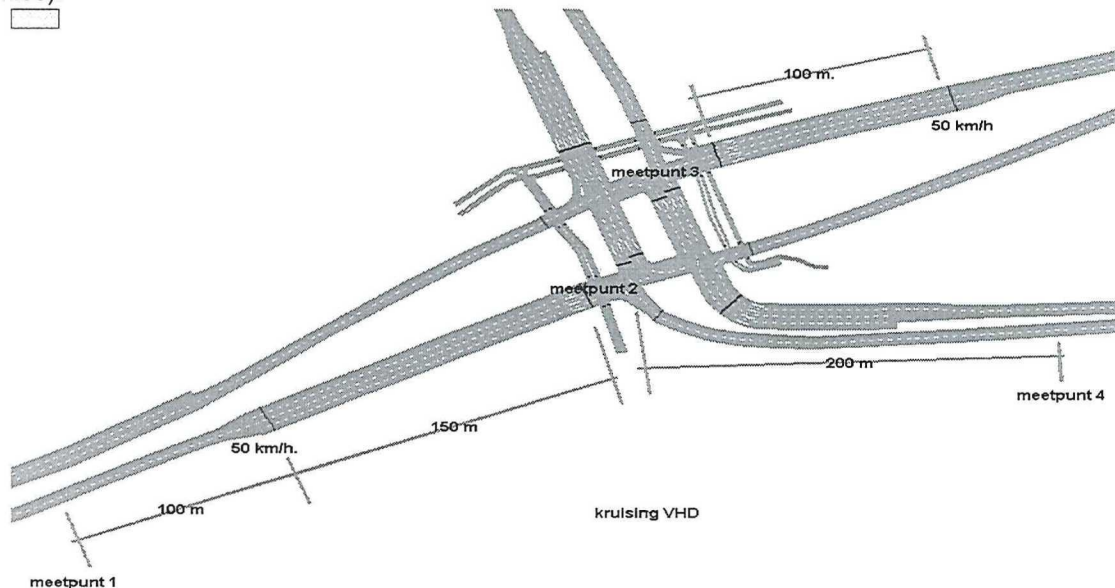
De introductie van ISA heeft effect op de snelheid. In deze paragraaf wordt eerst een beschrijving gegeven op welke punten in het model de snelheid is gemeten. Daarna wordt aan de hand van de snelheidsdistributies, de verlaging van de gemiddelde snelheid en de verlaging van de spreiding van de snelheid de invloed van ISA besproken. De relatieve daling in gemiddelde snelheid wordt gebruikt om de risicoreductie te schatten. De uitkomsten worden vergeleken met resultaten uit eerder besproken onderzoek.

Tabel 9.1: Meetpunt 1 t/m 4 in de Kruithuisweg, nabij of op de kruising met de Voorhofdreef

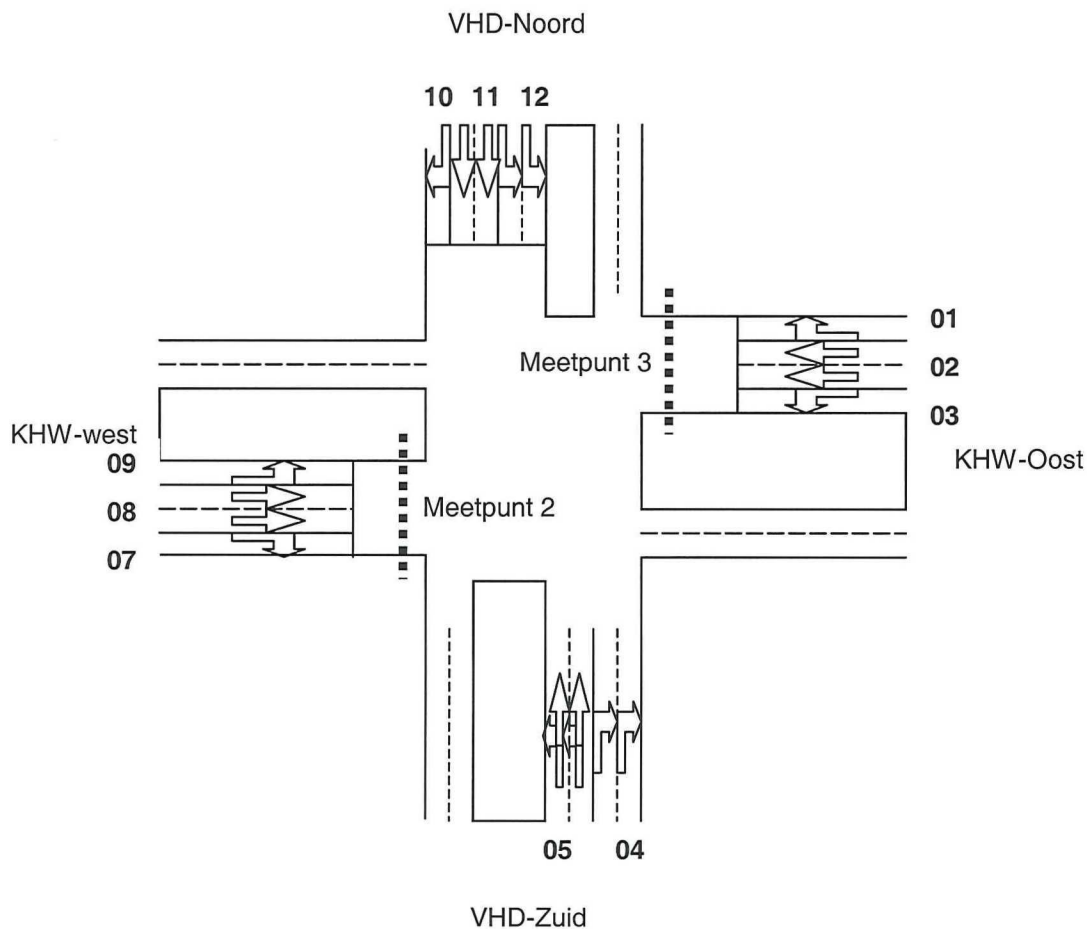
meetpunt	naam wegvak	snelheidslimiet	situatie	wegtype	locatie meetpunt
1.	KHW	80 km/h		GOW-bu	200 m voor kruising
2.	KHW/VHD 08	50 km/h	overgang: 80->50	kruising	15 m na stopstreep
3.	KHW/VHD 02	50 km/h	overgang: 80->50	kruising	15 m na stopstreep
4.	VHD-zuid	50 km/h		GOW-bi	50 m na kruising

9.2.1 Meetpunten

Op vier punten in de Kruithuisweg is de snelheid gemeten van de passerende voertuigen buiten de spits. Figuur 9.1 toont de locatie van de meetpunten in het model. Iedere simulatierun wordt per interval van 5 minuten het aantal voertuigen per snelheidsklasse vastgelegd in een VISSIM-uitvoerfile (Speed and #Vehicles at Data Collection Point: .mes-files).



Figuur 9.1 Locatie meetpunt 1 t/m 4 in model van Kruithuisweg.



Figuur 9.2: Kruising KHW met VHD, locatie meetpunt 2, richting 08 en meetpunt 3, richting 02.

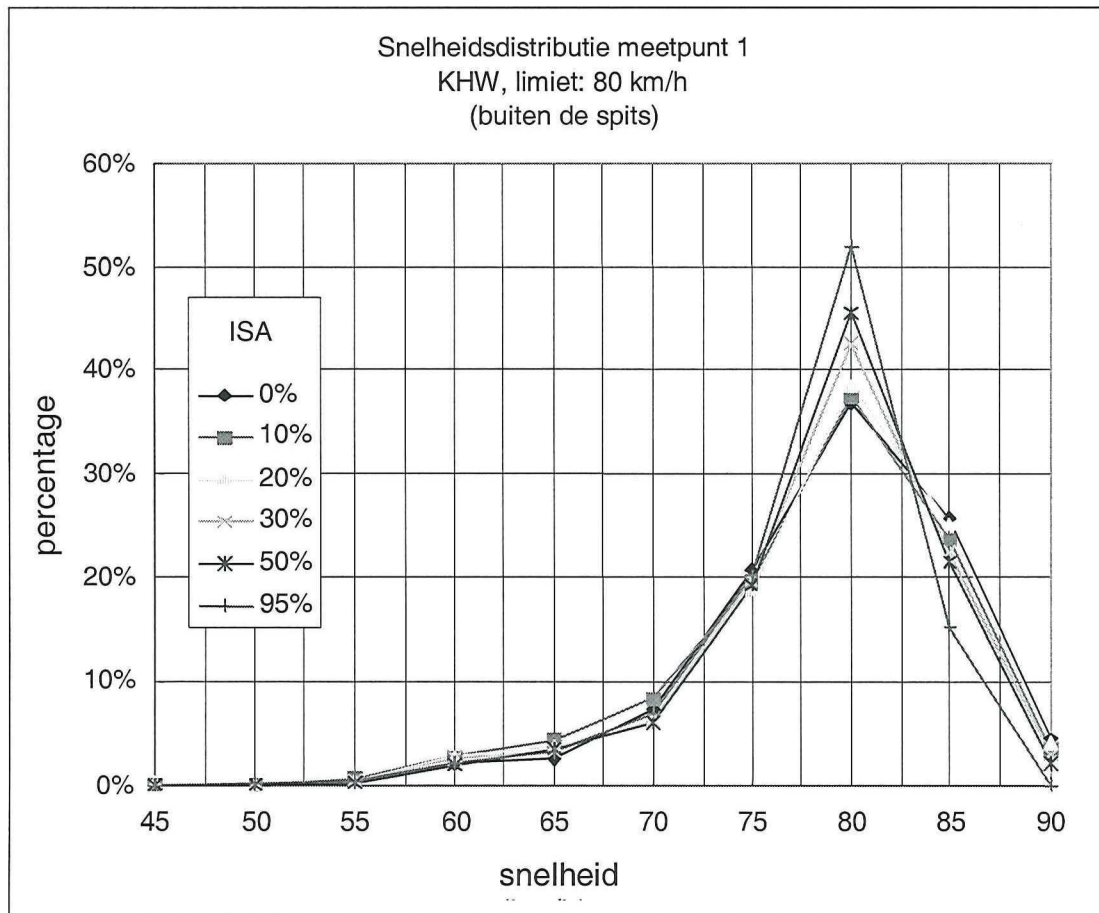
Meetpunt 1 ligt in de KHW op ca 250m voor de kruising met de VHD. Het verkeer passeert meetpunt 1 rijdend in oostelijke richting. Meetpunt 2 en 3 liggen in het rechtdoor-gaande wegvak van de KHW op de kruising met de VHD, ca 20 m na de stopstreep. Het verkeer passeert meetpunt 2 rijdend naar het Oosten (richting 08), en meetpunt 3 rijdend naar het Westen (richting 02). Meetpunt 4 ligt in de VHD op ca 250 m na de kruising met de KHW. Het verkeer passeert meetpunt 4 rijdend in zuidelijke richting. Tabel 9.1 toont informatie over de wegsituatie en de locatie van de meetpunten. Figuur 9.2 geeft schematisch de kruising van de KHW met de VHD weer, de locatie van meetpunt 2 en 3 en de bijbehorende richtingen van de voorsorteervakken.

9.2.2 Snelheidsdistributie

Op meetpunt 1 in de KHW bedraagt de snelheidslimiet 80 km/h en zonder begrenzing overschrijdt 30% van de voertuigen deze limiet. In figuur 9.3 is goed te zien dat tot 75 km/h de snelheidsverdeling onafhankelijk is van de ISA-penetratie. Bij toenemende penetratie met ISA neemt het aantal overschrijdingen van de limiet af en concentreert de snelheid zich steeds meer rond de 80 km/h. Dit illustreert goed de aanname dat begrensde bestuurders hun lagere snelheid niet compenseren door, waar het nog kan, harder te rijden dan zonder begrenzing het geval zou zijn geweest (gebaseerd op conclusie H7). Bij 95% ISA rijdt een aandeel van 15% te hard. Dit lijkt aan de hoge kant maar hierbij dient opgemerkt te worden dat als gevolg van de indeling in snelheidsklassen elke snelheid hoger dan 80 km/h (hoe weinig ook) toebedeeld wordt aan de klasse van 85 km/h. Hoewel de wenssnelheid van het ISA-voertuig niet hoger is dan de limiet kan die vanwege het stochastische karakter er soms iets boven schommelen. Stel dat toevallig alle 5% niet-bedrensde voertuigen (vracht/bus) te hard rijden, dan lijkt alsnog ca 10% van de ISA-voertuigen de limiet te overschrijden. Het verdient daarom aanbeveling in een eventuele vervolgstudie de klassen kleiner te kiezen en indien nodig vanwege het stochastische element in VISSIM de distributie van de wenssnelheid van de ISA voertuigen iets aan te passen. Tabel 9.1a toont waarden uit de cumulatieve distributie.

Tabel 9.1a. Snelheden op meetpunt 1: KHW: PW ->VHD, limiet: 80 km/h, buiten de spits.

meetpunt 1	ISA-penetratie					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
Snelheid	79.1	78.3	78.7	78.6	78.7	78.0
gemiddeld	79.1	78.3	78.7	78.6	78.7	78.0
st.dev.	6.3	7.1	7.2	6.9	6.2	5.7
15-percentiel	70.6	69.4	70.4	70.7	70.9	70.6
mediaan	77.3	76.9	77.3	77.1	77.1	76.7
85-percentiel	83.0	82.6	82.8	82.3	82.0	80.1

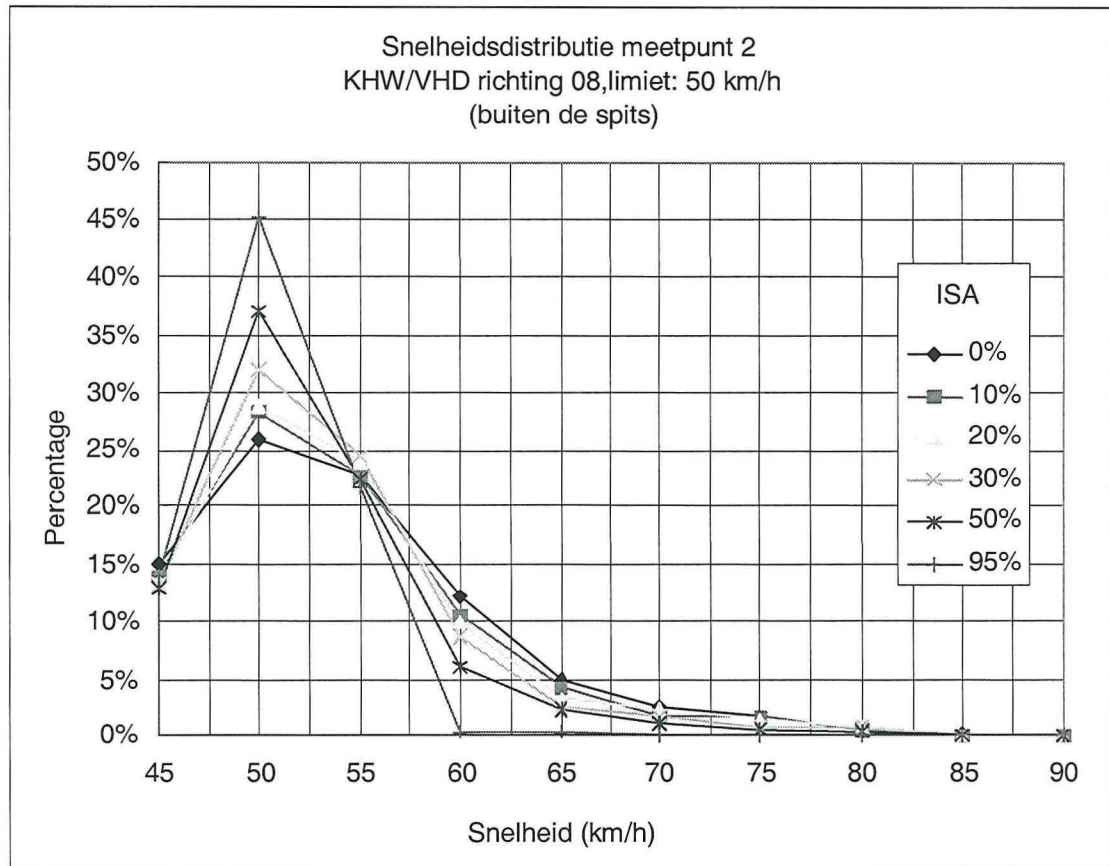


Figuur 9.3: Snelheidsdistributie meetpunt 1 op de KHW halverwege de kruisingen met PW en VHD (rijrichting: Oost).

Bij meetpunt 2 op richting 08 van de kruising van de KHW met de VHD bedraagt de snelheidslimiet 50 km/h en zonder begrenzing overschrijdt 45% van de voertuigen deze limiet. In figuur 9.4 is goed te zien dat tot 45 km/h de snelheidsverdeling onafhankelijk is van de ISA-penetratie. Bij toenemende penetratie met ISA neemt het aantal overschrijdingen van de limiet af en concentreert de snelheid zich steeds meer rond de 50 km/h. Bij 95% ISA rijdt een aandeel van 22% te hard. Dit lijkt aan de hoge kant maar hierbij speelt wederom de klassenindeling een rol. Tevens betreft het hier een situatie waar de limiet 150 m voor de kruising over is gegaan van 80 naar 50 km/h. Na het passeren van deze snelheidsovergang proberen de bestuurders, als ze niet voor het verkeerslicht moeten stoppen, hun wenssnelheid te bereiken via een comfortabele deceleratie variërend van 2.5 tot 3 m/s². Een aantal voertuigen zal ook in de door ISA begrensde situatie bij het meetpunt nog niet voldoende vertraagd zijn tot de wenssnelheid. Hoge snelheden van 60 km/h of meer nemen wel degelijk af bij invoering van ISA in deze situatie. Bij 95% ISA komen die helemaal niet meer voor. Tabel 9.1b toont karakteristieke waarden uit de cumulatieve snelheidsdistributie.

Tabel 9.1b. Snelheden op meetpunt 2: KHW 08: PW ->VHD, limiet: 50 km/h, buiten de spits.

meetpunt 2	ISA-penetratie					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
Snelheid	51.9	51.2	51.2	50.8	49.9	48.4
gemiddeld	51.9	51.2	51.2	50.8	49.9	48.4
st.dev.	8.6	8.5	8.4	7.9	7.3	5.7
15-percentiel	40.0	38.9	39.1	39.0	38.2	37.9
mediaan	48.9	48.4	48.5	48.2	47.6	46.9
85-percentiel	57.8	56.7	56.3	54.8	53.9	51.7

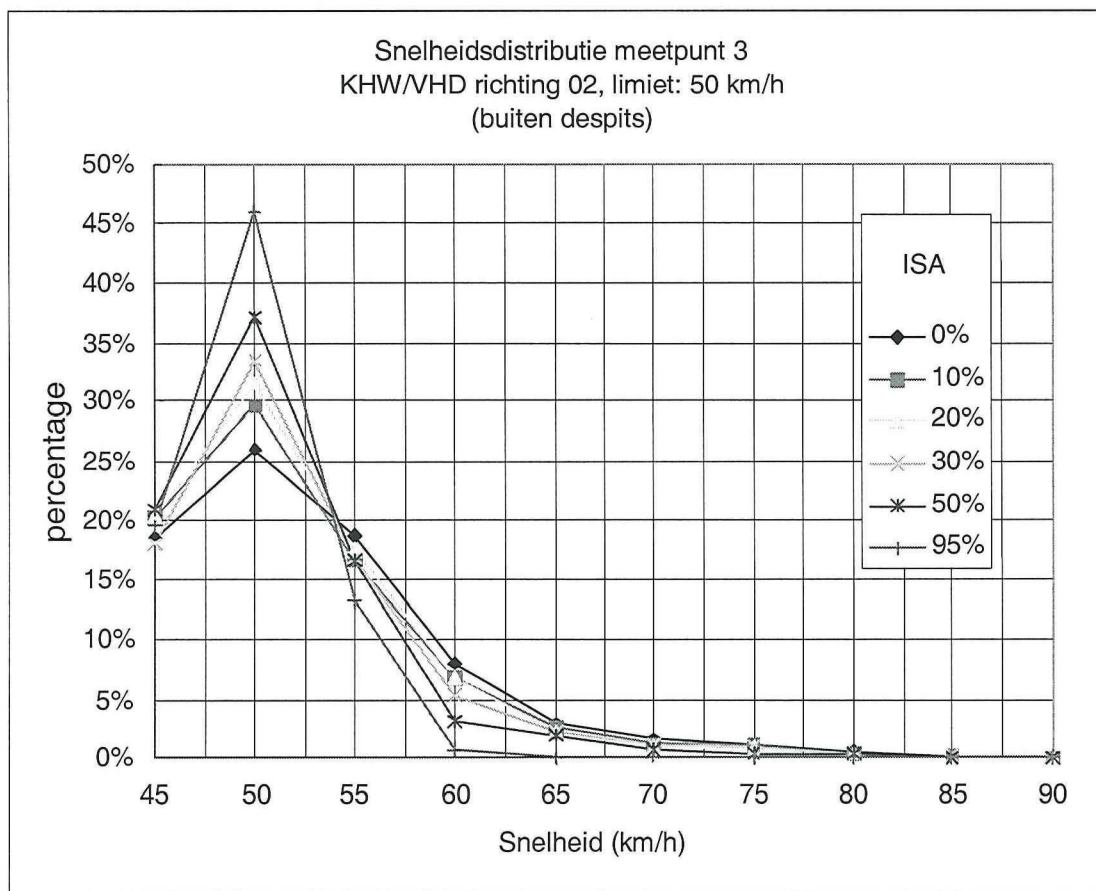


Figuur 9.4: Snelheidsdistributie meetpunt 2 op KHW ter hoogte van de kruising met de VHD (richting 08: Oost).

Bij meetpunt 3 op richting 02 van de kruising met de VHD bedraagt de snelheidslimiet 50 km/h en zonder begrenzing overschrijdt 33% van de voertuigen deze limiet. Tot 45 km/h is de snelheidsverdeling onafhankelijk van de ISA-penetratie. Bij toenemende penetratie met ISA neemt het aantal overschrijdingen van de limiet af en concentreert de snelheid zich steeds meer rond de 50 km/h (figuur 9.5). Bij 95% ISA rijdt een aandeel van 14% te hard. Dit lijkt aan de hoge kant maar hierbij speelt wederom de klassenindeling en de deceleratie in het overgangsgebied een rol. Hoge snelheden van 60 km/h of meer nemen ook hier af bij invoering van ISA. Bij 95% komen die bijna niet meer voor. Tabel 9.1c toont karakteristieke waarden uit de cumulatieve snelheidsdistributie.

Tabel 9.1c. Snelheden op meetpunt 3: KHW 02: A13->VHD, limiet: 50 km/h, buiten de spits.

meetpunt 3	ISA-penetratie					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
Snelheid						
gemiddeld	49.5	49.2	49.3	48.9	48.6	47.6
st.dev.	8.4	8.0	7.5	7.6	6.8	5.4
15-percentiel	36.2	36.7	37.6	36.5	37.6	37.1
mediaan	46.7	46.4	46.6	46.5	46.3	46.1
85-percentiel	54.7	54.1	53.9	53.4	52.4	49.9

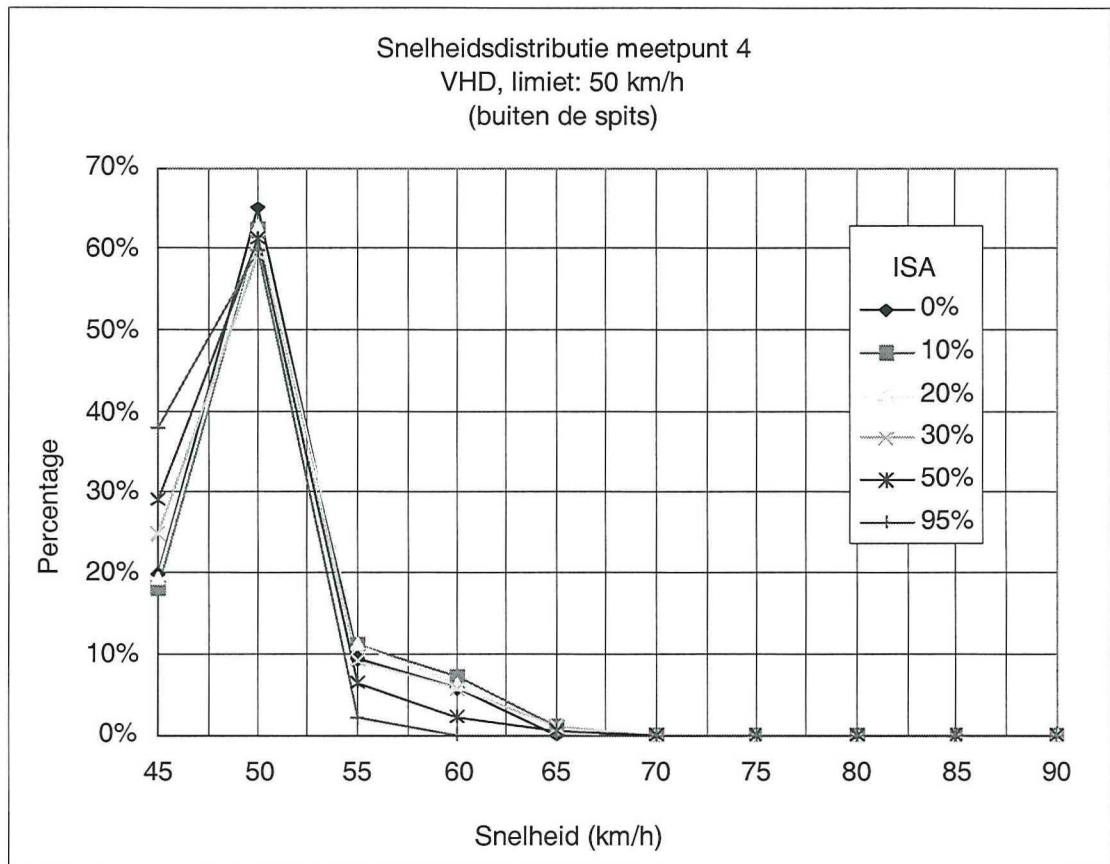


Figuur 9.5: Snelheidsdistributie meetpunt 3 op KHW ter hoogte van de kruising met de VHD (richting 02: West).

Meetpunt 4 ligt binnen de bebouwde kom op de VHD-zuid. De snelheidslimiet bedraagt hier 50 km/h en zonder begrenzing overschrijdt 15% van de voertuigen deze limiet. In figuur 9.6 is te zien dat onafhankelijk van de ISA-penetratie ca. 60% van de voertuigen 50 km/h rijdt. Bij toenemende penetratie met ISA neemt het aantal overschrijdingen van de limiet af. Bij 95% ISA rijdt slechts een marginaal aandeel van 2% te hard. Dat hier de snelheidsbegrenzing met ISA beter werkt dan op meetpunt 1 t/m 3, heeft te maken met het feit dat voor dit type weg de snelheidsverdelingen uit het ISA project in Tilburg zijn gebruikt als basis voor de wenssnelheidsdistributies (figuur 8.13). Tabel 9.1d toont karakteristieke waarden uit de cumulatieve snelheidsdistributie.

Tabel 9.1d. Snelheden op meetpunt 4: VHD, limiet: 50 km/h, buiten de spits.

meetpunt 4	ISA-penetratie					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
Snelheid	50.1	50.5	50.3	49.9	49.1	48.2
st.dev.	3.6	4.1	3.9	4.1	3.5	2.6
15-percentiel	43.8	44.1	43.8	43.0	42.5	42.0
mediaan	47.3	47.5	47.4	47.1	46.7	46.0
85-percentiel	50.1	52.0	51.3	50.5	49.5	48.9



Figuur 9.6: Snelheidsdistributie meetpunt 4 op VHD-zuid (rijrichting: Zuid).

9.2.3 Vergelijking snelheidsoverschrijdingen met EVSC-Leeds

In de ISA-trials in Zweden daalden het aantal snelheidsovertredingen scherp. Het effect was het grootst op 50- en 70 km/h-wegen. In het EVSC-project van de Universiteit van Leeds maakt men melding van overschrijdingen op het stedelijke netwerk van 20% in de spits en 34% buiten de spits, die bij volledige invoering van ISA voorkomen worden (dwingend controlerende variant met actief afremmen). Tabel 9.2 toont deze uitkomsten en de in de vorige paragraaf besproken overschrijdingen op de KHW. Deze resultaten kunnen niet goed met elkaar vergeleken worden. In het EVSC-project gaat het om overschrijdingen op heel het netwerk terwijl de overschrijdingen in het model van de Kruithuisweg op slechts 4 punten wordt gemeten. Ook verlaagt het EVSC-systeem de snelheid al voor de limietovergang tot de juiste hoogte.

Tabel 9.2: Overschrijdingen in EVSC-project en in model KHW.

Snelheidsovertredingen	onbegrensd	begrensd	verschil
EVSC (microsimulatie)		100% EVSC	
Stedelijk, spits	20%	0%	20%
Stedelijk, buiten spits	34%	0%	34%
KHW buiten spits		95% ISA	
1 KHW (80 km/h)	30%	15%	15%
2 richting 08 (50 km/h)	45%	24%	23%
3 richting 02 (50 km/h)	33%	14%	19%
4 VHD (50 km/h)	15%	2%	13%

9.2.4 Gemiddelde snelheid

Uit de snelheidsverdeling is de gemiddelde snelheid per meetpunt bepaald. Het betreft hier het gemiddelde over twee rijstroken en per interval van 5 minuten. Tabel 9.3 toont naast de gemiddelde snelheid in de nulsituatie, de verlaging van de gemiddelde snelheid bij toenemende ISA-penetratie. Alleen de waarden die met een betrouwbaarheid van 95% ($p=0,05$) bepaald kunnen worden, zijn opgenomen in de tabel. Bij een penetratie met 30%

ISA is er alleen op meetpunt 2 een significante, maar kleine verlaging aangetoond. Bij 50% ISA is de verlaging zowel op meetpunt 2 als 4 significant. Bij 95% ISA is de verlaging overall significant en loopt op van 1 km/h op de KHW (limiet: 80 km/h) tot 1,9 km/h op de VHD (limiet: 50 km/h). Het effect is dus groter binnen de bebouwde kom dan er buiten. Het is opmerkelijk dat de verlaging van de snelheid op de kruising (KHW/VHD) in oostelijke richting (meetpunt 2) 3,6 km/h bedraagt terwijl de snelheid in westelijke richting (meetpunt 3) slechts 2 km/h lager ligt. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in het feit dat hoewel de geometrie van de kruising nagenoeg symmetrisch is, het verkeersstroomproces aan beide kanten van de kruising op twee punten sterk verschilt. Het eerste verschil wordt veroorzaakt doordat het meeste verkeer, rijdend in oostelijke richting, rechtdoor gaat (richting 08, over meetpunt 2). Terwijl rijdend in westelijke richting er naast een grote doorgaande stroom (richting 02, over meetpunt 3) ook een grote naar rechts afslaanende stroom is (richting 01). Stroomopwaarts zullen bestuurders van rijstrook willen wisselen om voor te sorteren. Als daar niet direct voldoende mogelijkheid voor is, zullen ze hun snelheid verlagen. Achterop komende voertuigen zullen hun snelheid dan ook moeten matigen. In deze situatie heeft de invoering van ISA relatief minder effect op de snelheid. Dit proces is visueel goed waar te nemen gedurende de simulatie in VISSIM. Hierbij moet wel de opmerking geplaatst worden dat voorsorteren (invloegen) in VISSIM 3.60 slecht gemodelleerd is. In werkelijkheid voegt het verkeer veel soepeler in (zie ook paragraaf 9.6.1). Het tweede verschil wordt veroorzaakt doordat richting 08 een langere (vaste) groentijd kent dan richting 02, waardoor er relatief minder voertuigen moeten stoppen voor rood licht. In onbegrensde toestand zullen daarom bij meetpunt 2 relatief meer bestuurders met hoge snelheid de kruising passeren dan bij meetpunt 3. De invoering van ISA heeft dus in deze situatie een grotere invloed op de gemiddelde snelheid dan wanneer er toch al vaak afgeremd moet worden. De langere groentijd en het minder voorsorteren resulteren in onbegrensde toestand in een gemiddelde snelheid van 52 km/h op meetpunt 2. Dat is 2 km/h hoger dan op meetpunt 3. Het aandeel overschrijdingen van de limiet was op meetpunt 2 45% en op meetpunt 3 33%. De daling van de gemiddelde snelheid is het gevolg van de verlaging van het aandeel overschrijdingen. Het effect is bij een penetratie van 95% ISA in absolute zijn bijna twee keer zo groot op meetpunt 2 t.o.v. 3. Op meetpunt 2 bedraagt de relatieve verlaging 7% en op meetpunt 3 is dat 4%. Het effect op de veiligheid zal dus op meetpunt 2 groter zijn dan op punt 3. Dit wordt verder behandeld in paragraaf 9.2.3.

Tabel 9.3: Verlaging gemiddelde snelheid (km/h) t.o.v. 0% ISA

Gemiddelde snelheid			percentage ISA									
meetpunt	limiet	0%	10%	20%	30%	50%	95%	10%	20%	30%	50%	95%
		Vo	verlaging: Vn-Vo (km/h)					relatieve verlaging: Vn/Vo				
1.	80 km/h	79	~	~	~	~	-1.0	~	~	~	~	0.99
2.	50 km/h	52	~	~	-1.2	-2.1	-3.6	~	~	0.98	0.96	0.93
3.	50 km/h	50	~	~	~	~	-2.0	~	~	~	~	0.96
4.	50 km/h	50	~	~	~	-1.0	-1.9	~	~	~	0.98	0.96

~ betekent geen significant verschil t.o.v. 0% ISA ($p=0.05$)

9.2.5 Spreiding

In hoofdstuk 6 is besproken dat de verandering in de spreiding (in dit geval: st. dev) in de snelheidsverdeling een maat is voor het effect de verkeersveiligheid. Een kleinere spreiding betekent kleinere snelheidsverschillen en daarmee minder kans op een ongeval. Tabel 9.4 toont het verschil in spreiding in snelheidsverdeling t.o.v. 0% ISA bij toenemende ISA-penetratie op meetpunt 1-4. Hieruit blijkt dat zowel op de KHW (meetpunt 1) als de VHD (meetpunt 2) de spreiding bij ISA-penetratie tot 30% eerst iets toe neemt en vanaf 50% ISA zakt iets onder de uitgangssituatie zonder ISA. Bij 95% ISA neemt de spreiding op de KHW af met ca 9% en op de VHD met 28%. Dit bevestigt de aan het begin van de simulatiestudie gestelde hypothese (paragraaf 8.1). Op de kruising met de VHD (meetpunt 2 en 3) zet de verlaging van de spreiding in vanaf lage ISA-penetratie. Bij 95% ISA neemt de spreiding op de kruising af met ca 35%. Aangezien er geen sprake is van een verschuiving van lagere snelheden richting de limiet is de daling van de spreiding vooral toe te schrijven aan de afname van het aantal overschrijdingen van de limiet.

Tabel 9.4: Verschil in spreiding (km/h) in snelheidsverdeling t.o.v. 0% ISA

Spreiding		spreiding σ_0 0% ISA	verschil spreiding $\sigma_n - \sigma_0$				
meetpunt	limiet		10%	20%	30%	50%	95%
1	80 km/h	6,3	0,8	0,9	0,6	-0,1	-0,6
2	50 km/h	8,6	-0,1	-0,2	-0,7	-1,3	-2,9
3	50 km/h	8,4	-0,4	-0,9	-0,8	-1,6	-3,0
4	50 km/h	3,6	0,5	0,3	0,5	-0,1	-1,0

In hoofdstuk 7 zijn de resultaten van de ISA-pilot in Tilburg besproken. Hieruit kwam naar voren dat de spreiding op 50 km/h-wegen afnam van 11.9 naar 9,5 km/h en op 80 km/h-wegen afnam van 16.5 naar 15.6 km/h. De spreiding is het gemiddelde van meetpunten op verschillende wegen in het Tilburgse testgebied. De waarde is daarom vrij hoog vergeleken met een meting op één punt. De relatieve afname van de spreiding met ca. 20% op 80 km/h-wegen is in de zelfde orde grootte als de daling op de KHW.

9.2.6 Risicoreductie model Kruithuisweg volgens methode Nilsson

Aan de hand van de relatieve verandering van de gemiddelde snelheid (paragraaf 9.2.4) is de daling van het risico op de KHW berekend volgens de methode Nilsson. Tabel 9.5 toont de risicoreductie van letselongevallen in het model van de Kruithuisweg op meetpunt 1 t/m 4.

Tabel 9.5: Risicoreductie Kruithuisweg meetpunt 1-4, methode Nilsson.

Risicoreductie letselongevallen			percentage ISA				
meetpunt	limiet	wegtype	10%	20%	30%	50%	95%
1	80 km/h	GOW-bu	~	~	~	~	4%
2	50 km/h	kruising (08):	~	~	6%	11%	19%
3	50 km/h	kruising (02)	~	~	~	~	12%
4	50 km/h	GOW-bi	~	~	~	6%	11%

~ betekent geen significante verandering t.o.v. 0% ISA ($p=0.05$)

Hieruit kan geconcludeerd worden dat op het OWN een risicoreductie tussen de 4% en 19% minder letselongevallen bereikt kan worden bij een penetratie van 95% ISA. Op de GOW-bu is de reductie 4%, dat is minder dan de helft van de reductie van 11% die gehaald wordt op de GOW-bi. Op de kruisingen in het OWN zijn reducties tussen de 12 en 19% mogelijk.

9.2.7 Vergelijking met risicoreducties uit ander onderzoek volgens methode Nilsson

In hoofdstuk 7 zijn drie onderzoeken besproken waarvan de risicodaling is geschat bij volledige invoering van ISA. Tabel 9.6 combineert deze resultaten met de in de vorige paragraaf gepresenteerde risicoreducties op de KHW.

Tabel 9.6: Risicoreductie letselongevallen.

ISA-onderzoek	percentage ISA	Risicoreductie letselongevallen
EVSC-Leeds	60-100%	15-30%
ISA-pilot Tilburg	100%	10%
ISA-trials Zweden	100%	15-20%
ISA op Kruithuisweg	95%	4-19%

Uitgesplitst naar wegtype (voor zover die met elkaar te vergelijken zijn) levert dat de resultaten in tabel 9.7.

Tabel 9.7: Risicoreductie letselongevallen uitgesplitst naar wegtype

Risicoreductie letselongevallen	limiet	wegtype	percentage ISA	
			95%	100%
KHW	80 km/h	GOW-bu	4%	~
Zweden	70 km/h			14%
Tilburg	80 km/h			2%
VHD	50 km/h	GOW-bi	11%	
Zweden	50 km/h			12%
Tilburg	50 km/h			14%

Op de 50 km/h-wegen liggen de reductiepercentages dicht bij elkaar: 11-14%. Daarentegen zijn de geschatte risicoreducties voor 70 km/h-wegen in Zweden (Borlange en Lund) met 14% veel groter dan de 2% in Tilburg en 4% in het model van de KHW. Waarschijnlijk komt dit doordat in Borlange en Lund geen onderscheid is gemaakt tussen wegvak en kruising.

9.3 Time-to-collision

Deze paragraaf bespreekt het effect van ISA op het optreden van kritische en oncomfortabele time-to-collisions in het model van de Kruithuisweg.

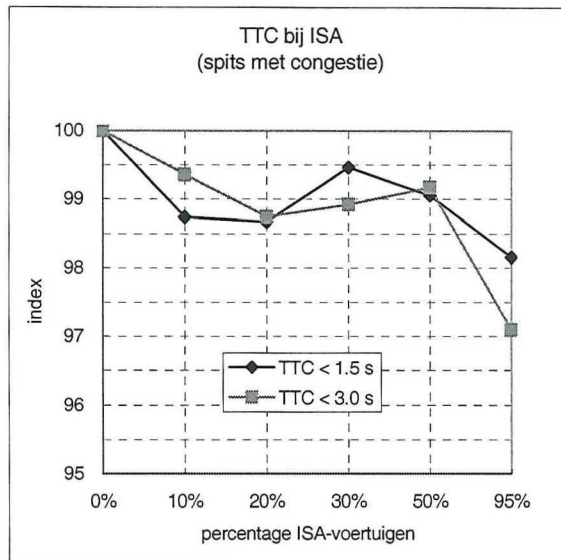
9.3.1 Definitie time-to-collision

Time-to-collision (TTC) wordt omschreven als: 'de tijd nodig voor twee voertuigen om te botsen als ze hun huidige snelheid en de richting aanhouden'. TTC (in s) gedefinieerd als volgafstand ($dx = x_i - x_{i+1} - l_i$ in m) gedeeld door volgsnelheid ($v_{i+1} - v_i$ in m/s), staat voor de tijd die een bestuurder op een bepaald moment heeft om een botsing te voorkomen. Hoe kleiner de TTC, hoe korter een bestuurder de tijd heeft om te reageren en te handelen. De TTC weerspiegelt daarmee de mentale werkbelasting van de bestuurder. Een TTC van nul seconde betekent dat het volgende voertuig (i+1) het leidende voertuig (i) raakt. De ernst van de afloop van deze botsing is afhankelijk van de (volg)snelheid (zoals in hoofdstuk 6 is besproken). Hoewel er nog geen empirisch bewijs is geleverd (Verwey 1994 en Van der Horst 1994) wordt de time-to-collision (TTC) algemeen geaccepteerd als een maat voor de (subjectieve) verkeersveiligheid. De TTC is daarmee een geschikte parameter ter vergelijking van de veiligheid van de verschillende ISA-varianten t.o.v. de nulvariant. Een theoretische relatie tussen de relatieve verandering van TTC en de relatieve verandering van de kans op ongevallen, zoals afgeleid voor snelheid in hoofdstuk 6, is niet gevonden in de literatuur. Hoogendoorn (2000) en Minderhoud (1999) hanteren 1,5 s als grenswaarde voor een kritische TTC en 3 s voor een oncomfortabele TTC. Deze grenswaarden zijn in dit onderzoek overgenomen.

- Kritisch: $TTC < 1,5$ s (in de buurt van de reactiesnelheid van de mens). De bestuurder moet een noodmanoeuvre maken om een botsing te voorkomen. Let hij niet goed op dan is een ongeval onvermijdelijk.
- Oncomfortabel: $TTC < 3$ s (ruim boven de reactietijd). De bestuurder ervaart dit als onplezierig (schrikreactie) en moet adequaat reageren en handelen om een botsing te voorkomen.

9.3.2 Resultaten time-to-collision

Tijdens iedere simulatierun wordt per simulatiestap van 0.1 s de volgafstand en volgsnelheid vastgelegd in een VISSIM-uitvoerfile (Vehicle Record Output: .fzp-file). Hieruit is naderhand de TTC per tijdstap berekend en het aantal keren geteld dat een kritische of oncomfortabele TTC optrad. Ter vergelijking van de ISA-varianten met de nulvariant is het aantal keren dat een kritische of oncomfortabele TTC optreedt bij gewoon verkeer (nulvariant: 95% auto's, 4% vracht en 1% bussen) gesteld op 100. Met behulp van de student t-toets is bepaald of het verschil significant is bij een betrouwbaarheid van 95%. Het blijkt dat niet alle verschillen significant zijn ($p=0.05$). Hieronder worden de uitkomsten kort besproken. Figuur 9.7 toont de index voor zowel kritische als oncomfortabele TTC bij oplopende ISA-penetratie gedurende de spits periode. Figuur 9.8 toont de index voor de periode buiten de spits.

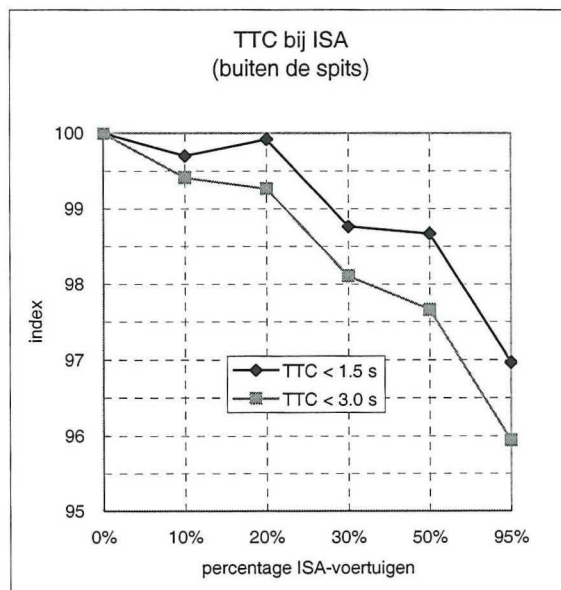
**TTC met ISA in de spits****Kritisch:**

- ca. 1% daling tussen 10% en 30% ISA
- 2% daling bij 95% ISA (50% ISA is niet significant, $p=0.05$).

Oncomfortabel:

- 1% daling bij 30% ISA,
- 3% daling bij 95% ISA (alleen bij 30% en 95% ISA een significante daling).

Figuur 9.7: Index kritische en oncomfortabele TTC bij oplopende ISA-penetratie in de spits

**TTC met ISA buiten de spits**

Bij 10% en 20% ISA geen significante verandering in TTC's ($p=0.05$).

Kritisch:

- ca. 1% daling bij 30% en 50% ISA,
- 3% daling bij 95% ISA.

Oncomfortabel:

- ca. 2% daling bij 30% en 50% ISA,
- 4% daling bij 95% ISA.

Figuur 9.8: Index kritische en oncomfortabele TTC bij oplopende ISA-penetratie buiten de spits

Over de situatie in de spits kan vanwege het grillige verloop van zowel het aantal kritische als oncomfortabele TTC's bij oplopende ISA-penetratie, slechts met zekerheid iets gezegd worden bij 95% ISA: daling kritisch is 2% en daling oncomfortabel is 3%.

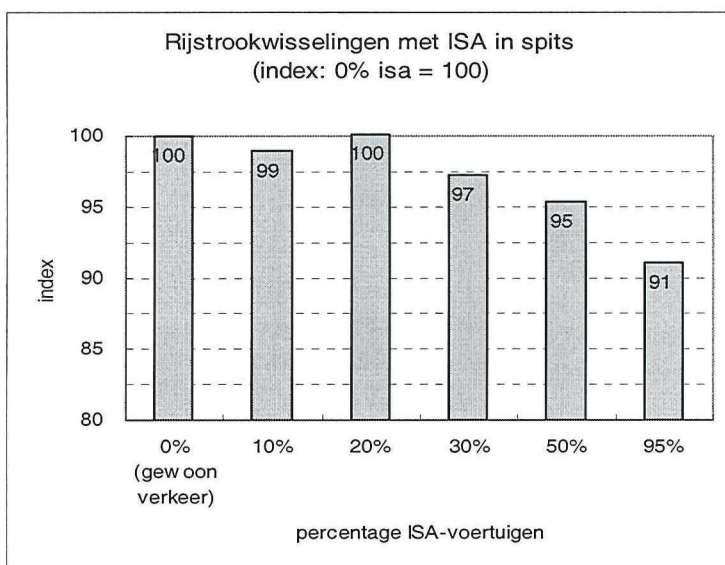
De situatie buiten de spitsperiode laat een kleine significante verbetering zien vanaf 30% ISA: daling kritisch is 1.2% en daling oncomfortabel is 2%. Bij 95% ISA buiten de spits dalen de kritische TTC's met 3% en de oncomfortabele TTC's met 4%. Onder de aanname dat deze TTC's een maat zijn voor de (subjectieve) verkeersveiligheid, kan geconcludeerd worden dat de veiligheidswinst het grootst is buiten de spits bij zo hoog mogelijke ISA-penetratie.

9.4 Inhalen

Deze paragraaf bespreekt het effect van ISA op het aantal inhaalbewegingen in het model en vergelijkt deze uitkomsten met ander onderzoek.

9.4.1 Resultaten rijstrookwisselingen

Tijdens iedere simulatierun wordt het aantal rijstrookwisselingen vastgelegd in een VISSIM-uitvoerfile (Lane Change Evaluation Table: spw-file). Hieruit is naderhand het aantal inhaalbewegingen afgeleid door het aantal rijstrookwisselingen van de rechter naar de linker strook te tellen. Ter vergelijking van de ISA-varianten met de nulvariant is het aantal rijstrookwisselingen van rechts naar links bij gewoon verkeer (nulvariant: 95% auto's, 4% vracht en 1% bussen) gesteld op 100. Met behulp van de student t-toets is bepaald of het verschil significant is bij een betrouwbaarheid van 95%. Het blijkt dat niet alle verschillen significant zijn ($p=0.05$). Hieronder worden de uitkomsten kort besproken. Figuur 9.7 toont de indexatie van de rijstrookwisselingen bij oplopende ISA-penetratie gedurende de spits periode. Figuur 9.8 toont de rijstrookwissel-index voor de periode buiten de spits.

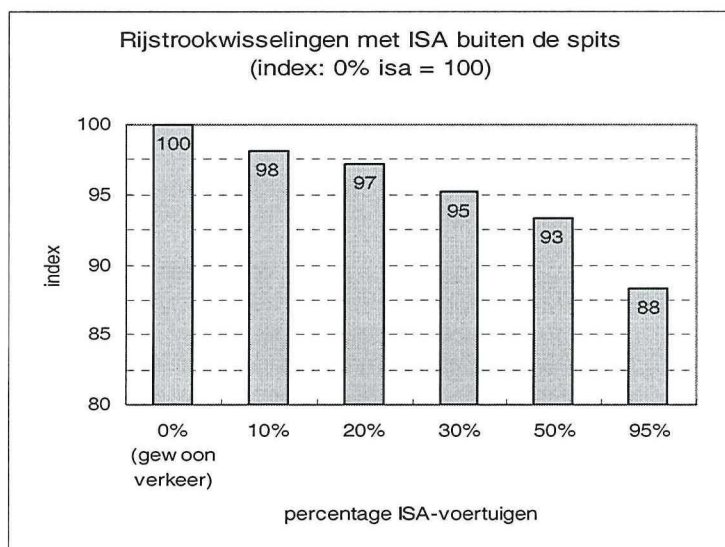


Inhalen in de spits:

Bij 10% en 20% ISA geen significante verandering ($p=0.05$).

- 3% daling bij 30% ISA, oplopend tot
- 9% daling bij 95% ISA

Figuur 9.7: Rijstrookwisselingen bij oplopende ISA-penetratie in de spits



Inhalen buiten de spits:

- Voortschrijdende daling van 2% bij 10% ISA tot 12% bij 95% ISA

Figuur 9.8: Rijstrookwisselingen bij oplopende ISA-penetratie buiten de spits

In de spits neemt het aantal inhaalbewegingen af vanaf een ISA-penetratie van 30%. Buiten de spits zet de daling gelijk in vanaf 10% ISA. Bij 95% ISA daalt het inhalen met 9% in de spits en met 12% buiten de spits. In paragraaf 9.2.5 is geconstateerd dat de spreiding op meetpunt 1 en 4 bij toenemende ISA-penetratie buiten de spits, eerst toenam en pas vanaf 50% ISA afnam t.o.v. de nulsituatie. Bij toename van de spreiding worden de snelheidsverschillen groter en daarmee ook de wens om in te halen. Dit beeld wordt niet bevestigd door bovenstaande resultaten. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de spreiding gemeten is op een punt en dat het aantal rijstrookwisselingen gemeten is op het hele netwerk. Blijkbaar wordt het vaker inhalen op wegvakken gecompenseerd door minder inhalen op kruisingen. Vanaf 50% ISA komt de daling van het aantal inhaalbewegingen wel overeen met de afname van de spreiding in de snelheidsverdeling.

9.4.2 Vergelijking rijstrookwisselingen met EVSC-Leeds

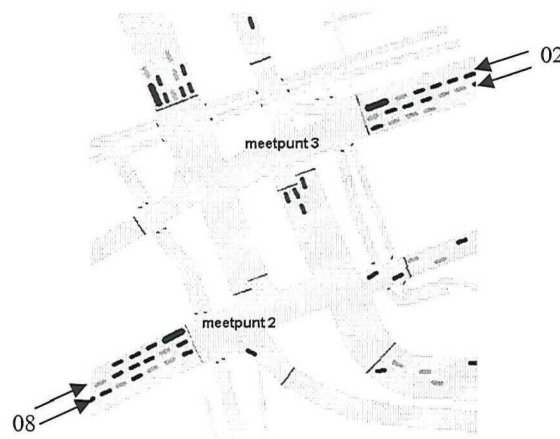
In de EVSC-simulaties werd alleen op het landelijke netwerk een effect op het inhalen geconstateerd. Bij ISA-penetraties vanaf 60% tot 100% daalde het aantal inhaalbewegingen met 10%. Dit komt redelijk overeen met de daling van 9% in de spits en 12% buiten de spits in het model van de KHW bij 95% ISA. Ook in de ADVISORS-simulaties in HUTSIM werd op een stedelijke 2x2-baansweg een afname van het inhalen geconstateerd.

9.5 Capaciteit

Op twee punten in het model van de Kruithuisweg is het aantal passerende voertuigen per interval geteld. Aan de hand daarvan is de invloed van ISA op de capaciteit bepaald. Deze paragraaf beschrijft waar de meetpunten liggen, schetst de verkeerssituatie ter plekke en bespreekt de resultaten.

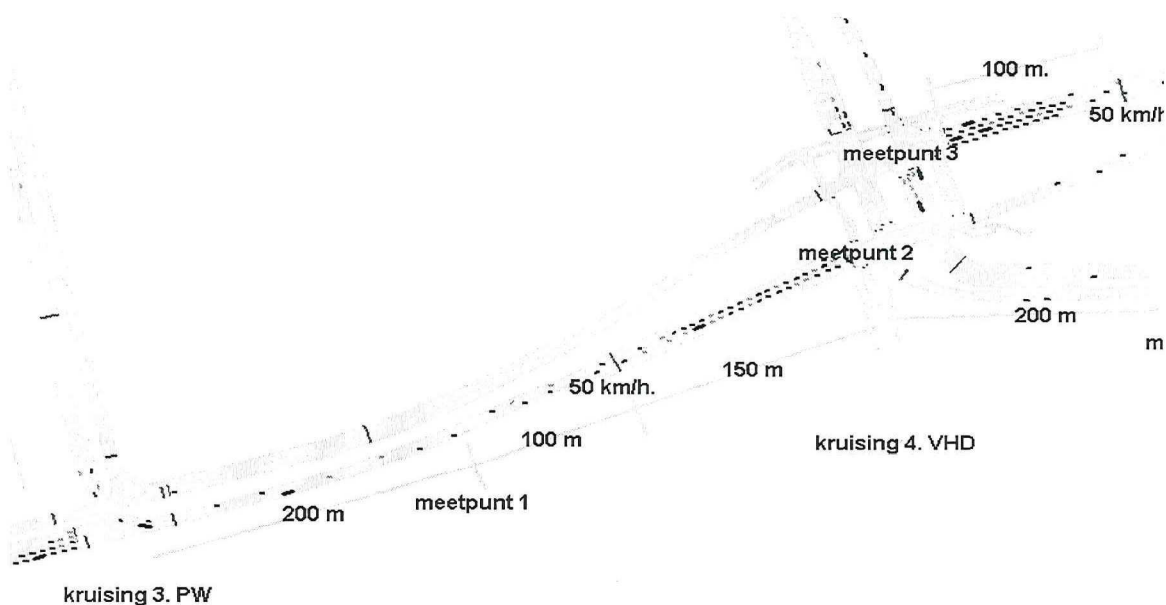
9.5.1 Observaties verkeersproces

Op het OWN wordt de capaciteit in de regel bepaald door de capaciteit van de kruisingen in het netwerk. De capaciteit van een kruising wordt zijn beurt weer bepaald door de afrijcapaciteit van de kritieke richting. In het model is richting 08 van de kruising met de VHD (figuur 9.2) maatgevend voor de capaciteit van de KHW. Figuur 9.9 toont de hoofdrichtingen 02 en 08.



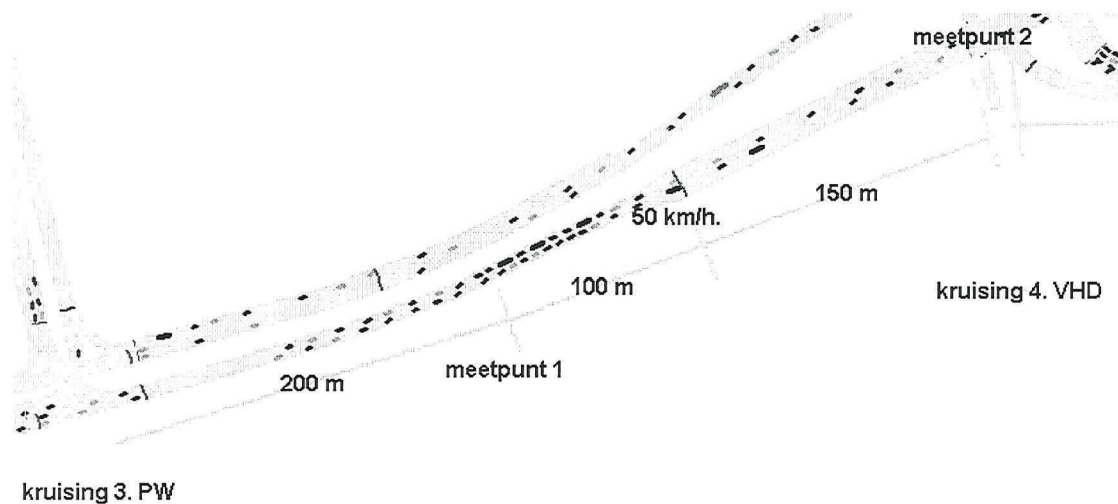
Figuur 9.9: Hoofdrichtingen 02 en 08 op kruising 4, KHW met VHD.

De cyclustijd (125 s) van de verkeerslichtenregeling wordt bepaald door de lange groentijd die richting 08 nodig heeft. De lange groentijd (59 s) is nodig om de wachtrij voldoende af te laten rijden en een totale blokkade te voorkomen. In de gesimuleerde ochtendspits is namelijk de wachtrij die opgebouwd wordt vanaf de stopstreep richting de PW in het Westen kritiek. Af en toe wordt de wachtrij – eigenlijk een langzaam rijdende file – zo lang dat de kruising met PW wordt bereikt en geblokkeerd. Vanwege de goede visualisatie mogelijkheden van VISSIM is het mogelijk om het verkeersproces nauwkeurig te observeren. Hieruit blijkt dat niet alleen het afrijden van de wachtrij kritiek is, maar dat ook rijstrookwisselingen een rol spelen. In feite spelen er twee processen. Ten eerste het proces van opbouwen van een wachtrij voor de stopstreep bij rood licht en afrijden van deze wachtrij bij groen licht. Figuur 9.10 toont dit proces.



Figuur 9.10: Opbouw wachtrij op richting 08 (bij meetpunt 2)

Het tweede proces speelt meer stroomopwaarts voor het begin van de voorsorteervakken naar links en naar rechts (richting 09 en 07). Hier willen 'voertuigen' van rijstrook wisselen om later te kunnen voorsorten (uitvoegen). Dit gaat goed zolang de wachtrij niet langer dan ca. 150 m is. Wordt de wachtrij langer dan verstoort het rijstrookwissel-gedag het efficiënt afrijden van de wachtrij. Figuur 9.11 toont dit proces. Tot 150m voor de stop streep is de wachtrij opgelost maar ter hoogte van het begin van de voorsorteervakken is nog sprake van congestie.



Figuur 9.11: Congestie vanaf het begin van de voorsorteervakken (iets voor 50 m/h-zone)

Deze verstoring van het afrijden is waarschijnlijk eerder het gevolg van de beperkingen van VISSIM dan overeenkomend met de werkelijke situatie. Uit praktijkobservaties langs de weg en vanaf de 13e verdieping van een aan de KHW gelegen flatgebouw blijkt dat de congestie de PW bereikt, maar het van rijstrook wisselen lijkt in werkelijkheid een minder belangrijke rol te spelen. In VISSIM is het echter niet goed mogelijk het uitvoegen van de hoofdrijrichting naar de aangrenzende voorsorteervakken realistisch te modelleren. De voertuigen willen meteen aan het begin van het voorsorteervak uitvoegen terwijl in werkelijkheid er nog over een redelijk deel van de lengte van het vak uitgevoegd kan worden. Hiermee dient terdege rekening gehouden te worden bij de interpretatie van de modelresultaten.

9.5.2 Resultaten meting afrijcapaciteit

Ter bepaling van de afrijcapaciteit van richting 08 is op meetpunt 2 het aantal passerende voertuigen geteld per interval van 5 minuten. Hoewel richting 02 niet maatgevend is wordt ook hiervoor de afrijcapaciteit bepaald aan de hand van de op meetpunt 3 passerende voertuigen. Aangezien de wachtrij niet in z'n geheel blijkt af te rijden in de beschikbare groentijd (per cyclus) is er gedurende het hele interval sprake van congestie. Afgezien van de eerste 5 minuten 'opwarmtijd' geldt dit voor alle intervallen. Er is aangenomen dat de per interval bepaalde intensiteiten (vgt/h) de capaciteitstoestand weerspiegelen. Het blijkt echter dat het verkeersproces dermate instabiel (wisselvallig) is dat de spreiding (st. dev.) erg groot wordt. Worden de resultaten voor oplopende ISA-penetratie vergeleken met de nulsituatie dan blijken de verschillen bij lange na niet significant ($p=0.05$) te zijn. Blijkbaar zijn de intervallen te klein gekozen. Pas bij een interval van 55 minuten per simulatie (60 min) is het verschil significant ($p=0.05$, $n=8$) voor een aantal ISA-varianten. Tabel 9.9 toont de afrijcapaciteiten verkregen bij intervallen van 55 minuten.

Tabel 9.9: Afrij-capaciteiten verkregen bij intervallen van 55 minuten, meetpunt 2 en 3.

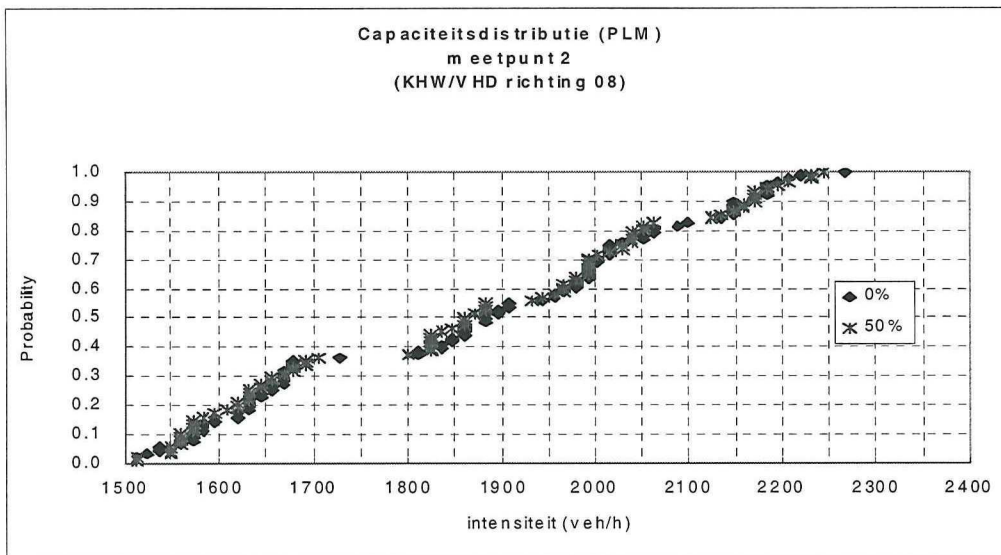
Meetpunt 2	percentage ISA					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
KHW/VHD richting 08	0%	10%	20%	30%	50%	95%
afrijcapaciteit (vgt/h)	1888	1883	1876	1880	1880	1867
st.dev.	10	9	11	9	14	13
t-toets ($p=0.05$) $n=8$: t=		1.53	3.15	2.16	2.16	5.47
verschil t.o.v. 0% (afname)		-0.3%	-0.6%	-0.4%	-0.4%	-1.1%

Meetpunt 3	percentage ISA					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
KHW/VHD richting 02	0%	10%	20%	30%	50%	95%
afrijcapaciteit (vgt/h)	1102	1114	1108	1104	1117	1101
st.dev.	16	10	13	23	15	12
t-toets ($p=0.05$) $n=8$: t=		-2.01	-1.00	-0.22	-2.61	0.15
verschil t.o.v. 0% (toename)		1.0%	0.5%	0.1%	1.4%	-0.1%

De verschillen in capaciteit blijken echter marginaal te zijn: op meetpunt 2 bij 20 tot 50% ISA een daling van ca. 0.5% en bij 95% ISA een daling in capaciteit van 1.1%. Op meetpunt 3 is er bij 10 en 50% ISA een toename van resp. 1% en 1.4% in de capaciteit. Het is opmerkelijk dat voor de andere ISA-penetraties geen significant verschil wordt gevonden. Tevens is het vreemd dat op richting 08 de capaciteit daalt en dat op richting 02 deze stijgt. Als gevolg hiervan kan aan de uitkomsten niet te veel waarde gehecht worden en kan er geen eenduidige conclusie betreffende de verandering van de afrijcapaciteit met ISA getrokken worden.

9.5.3 Capaciteit aan de hand van de Product Limiet Methode

Met het doel een beter inzicht te krijgen in de capaciteit, zijn de gemeten intensiteiten per interval van 5 minuten uitgezet in een cumulatieve distributie aan de hand van de Product Limiet Methode (PLM). Figuur 9.12 toont de cumulatieve capaciteitsdistributie bij 50% ISA op richting 08 (meetpunt 2) en figuur 9.13 toont de distributie voor richting 02 (meetpunt 3). Met 'probability $q_i < q$ ' wordt hier bedoeld de waarschijnlijkheid (kans) dat de capaciteit kleiner is dan een gemeten intensiteit. De getoonde figuren zijn representatief voor de overige distributies bij andere ISA percentages.

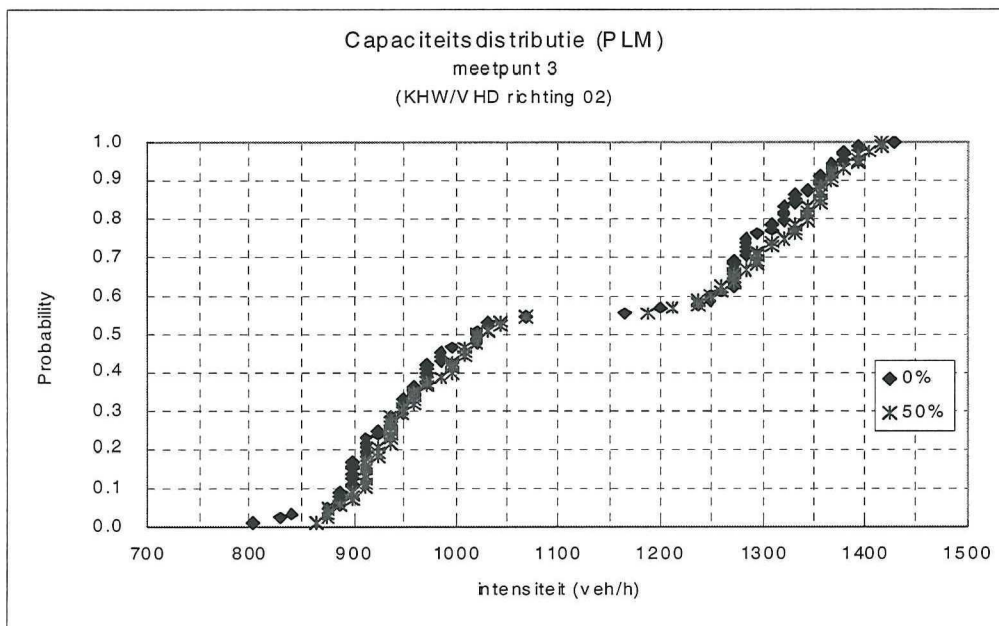


Figuur 9.12: Cumulatieve capaciteitsdistributie bij 50% ISA op richting 08 (meetpunt 2).

Uit figuur 9.12 blijkt duidelijk dat de gemeten intensiteiten zich niet concentreren rond een bepaalde waarde, maar verspreid liggen over een breed bereik. Tabel 9.10 toont de mediaan-waarden (50-percentiel) voor de capaciteit bij oplopende ISA-penetratie op richting 08. Gezien het verloop van de cumulatieve distributies en de kleine verschillen (afname) t.o.v. de nulvariant kunnen hier geen conclusies betreffende de capaciteit aan verbonden worden.

Tabel 9.10: 50-percentiel-waarde cumulatieve capaciteitsdistributies voor richting 08 (meetpunt 2).

Meetpunt 2 KHW/VHD richting 08	percentage ISA					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
mediaan cum. capaciteitsdistributie (vgt/h)	1884	1884	1860	1884	1860	1872
verschil t.o.v. 0% (afname)	0%	-1.3%	0%	-1.3%	-0.6%	



Figuur 9.13: Cumulatieve capaciteitsdistributie bij 50% ISA op richting 02 (meetpunt 3).

Ook toont figuur 9.13 dat de gemeten intensiteiten zich niet concentreren rond een bepaalde waarde, maar verspreid liggen over een breed bereik. [Het verkeersproces op richting 02 lijkt uit twee delen te bestaan. Het eerste proces heeft een bereik van 850 tot 150 vgt/h tot gevolg en het tweede proces heeft een bereik van 1250 tot 1400 vgt/h. Bij het tweede proces lijkt ISA te leiden tot een verhoging van de intensiteit met ca. 25 vgt/h. Dit geldt ogenschijnlijk alleen voor ISA-percentages van 10%, 20% en 50%.] Tabel 9.11 toont de mediaan-waarden voor de capaciteit bij oplopende ISA-penetratie op richting 02. Gezien het verloop van de cumulatieve distributies en de kleine verschillen (toename) t.o.v. de nulvariant kan ook hier geen verandering in capaciteit aangetoond worden.

Tabel 9.11: 50-percentiel-waarde cumulatieve capaciteitsdistributies voor richting 02 (meetpunt 3).

Meetpunt 3	percentage ISA					
	0%	10%	20%	30%	50%	95%
KHW/VHD richting 02 mediaan cum. capaciteitsdistributie (vgt/h)	1020	1020	1032	1032	1020	1020
verschil t.o.v. 0% (toename)	0%	1.2%	1.2%	0%	0%	

9.6 Reistijd en trajectsnelheid

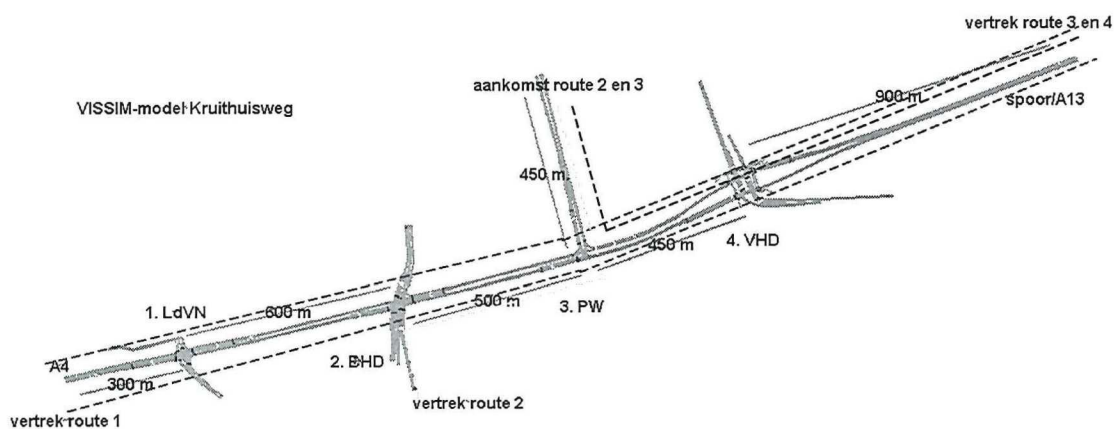
Deze paragraaf bespreekt het effect van ISA op de reistijd op een viertal routes in het model van de Kruithuisweg en vergelijkt deze uitkomsten met ander onderzoek.

9.6.1 Reistijdmeting op route 1 t/m 4

Iedere simulatierun wordt per interval van 5 minuten de reistijd op vier vooraf gedefinieerde routes vastgelegd in een VISSIM-uitvoerfile (Travel Times at Routes: .rsz-files). Route 1 en 4 lopen over de gehele lengte van de Kruithuisweg van A4 tot aan het viaduct over het spoor richting de A13 en vice versa. Beide routes lopen over een lengte van 2900 m over een Gebiedsontsluitingsweg buiten de bebouwde kom (GOW-bu). Route 2 loopt diagonaal van Buitenhofdreef-Zuid over de Kruithuisweg naar de Provinciale weg. Route 3 loopt van de Kruithuisweg uit het Oosten naar Provinciale weg in het Noorden. Deze routes beginnen binnen de kom op een GOW-bi met een limiet van 50 km/h. En gaan vervolgens over op een GOW-bu met een limiet van 80 km/h. Voor de kruisingen is de limiet 50 km/h. Tabel 9.12 en figuur 9.14 tonen de routes 1 t/m 4 (in kleuren rood, geel, blauw en groen).

Tabel 9.12: Routes 1 t/m 4

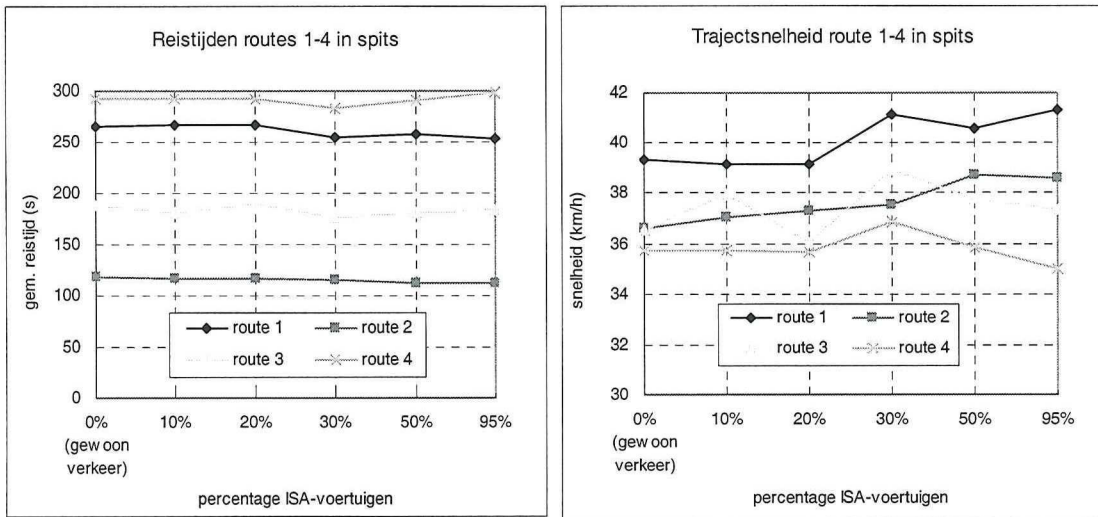
route	lengte	van/naar	wegtype(s)	kruisingen
1	2900 m	van West naar Oost over de Kruithuisweg	GOW-bu	4
2	1200 m	van Buitenhofdreef-Zuid naar Provinciale weg	GOW-bi->bu	2
3	1900 m	van Kruithuisweg-Oost naar Provinciale weg	GOW-bu	2
4	2900 m	van Oost naar West over de Kruithuisweg	GOW-bu	4



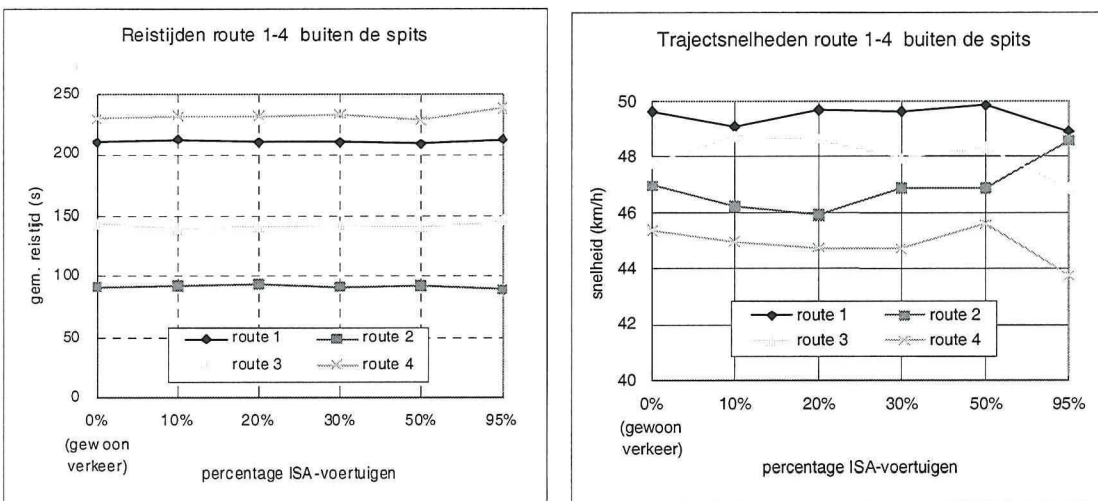
Figuur 9.14 Ligging routes 1 t/m 4 in model van Kruithuisweg.

9.6.2 Resultaten reistijd en trajectnsnelheid

Met behulp van de student t-toets is bepaald of het verschil significant is bij een betrouwbaarheid van 95%. Het blijkt dat er in de meeste gevallen geen significant verschil is ($p=0.05$). Een verklaring hiervoor is de instabiliteit van het verkeersproces rond de kruising met de VHD zoals beschreven in paragraaf 9.5.1. Het in figuur 9.15 en 9.16 gepresenteerde verloop van de reistijd geeft slechts een tendens waaraan geen conclusies verbonden kunnen worden anders dan dat er geen significant effect van ISA op de reistijd geconstateerd is. In de figuren is naast de reistijd ook de trajectnsnelheid getoond. De trajectnsnelheid per route is het quotiënt van de lengte van de route en de reistijd op de route.



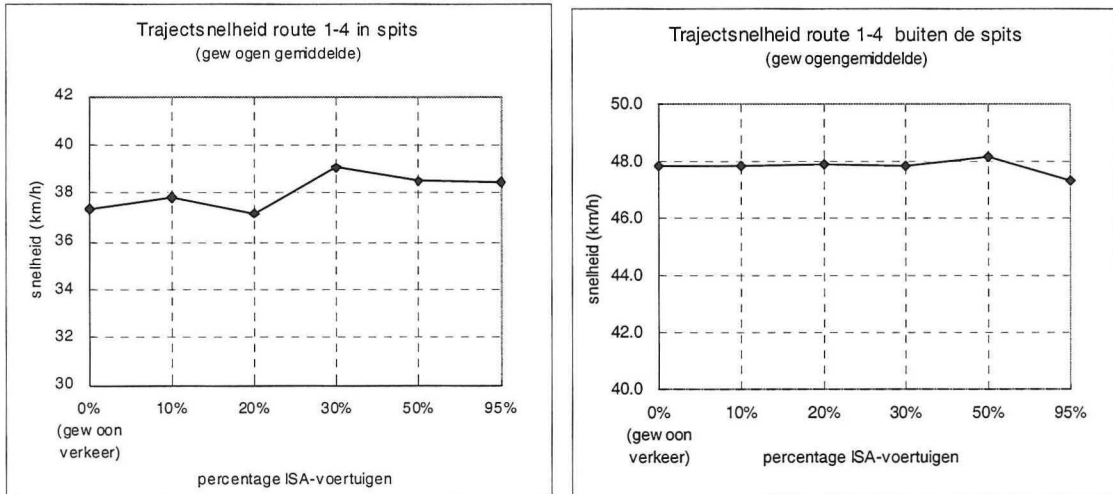
Figuur 9.15: Reistijden en trajectnsnelheden op route 1 t/m 4 bij oplopende ISA-penetratie in de spits.



Figuur 9.16: Reistijden en trajectnsnelheden op route 1 t/m 4 bij oplopende ISA-penetratie buiten de spits

9.6.3 Trajectnelheid op netwerkniveau

De trajectnelheid op netwerk niveau is het gewogen gemiddelde van de trajectnelheden berekend aan de hand van de reistijden op de routes 1 t/m 4 (figuur 9.17). De trend is dat in de spits de trajectnelheid stijgt vanaf 37.5 km/h tot 39 km/h bij 30% ISA en daarna stabiel blijft op 38.5 km/h. Buiten de spits: stabiel rond de 48 km/h, iets lagere snelheid van 47 km/h bij 95% ISA. Gezien de grote spreiding in de reistijden kan slechts geconcludeerd worden dat er geen significant effect van ISA op de trajectnelheid aangetoond kan worden.



Figuur 9.17: Trajectnelheid route 1 t/m 4 bij oplopende ISA-penetratie

9.6.2 Vergelijking effecten op reistijd

In hoofdstuk 7 is besproken dat in de simulaties van EVSC-Leeds er met name buiten de spits op het stedelijke netwerk een toename van de reistijd met 6.4% is geconstateerd. Tabel 9.13 toont deze resultaten. In de ADVISORS-simulaties in HUTSIM werd op een stedelijke 2x2-baansweg echter een grote afname van de reistijd, zowel in als buiten de spits, geconstateerd. De resultaten op de Kruithuisweg tonen geen significante verandering in de reistijden aan.

Tabel 9.13: Overzicht resultaten microsimulatie EVSC-project Leeds (1) en ADVISORS (2)

Netwerk	Reistijd
stedelijk spits (1)	+2.6%
stedelijk buiten spits (1)	+6.4%
landelijk (1)	+0.4%
stedelijke 2x2-baansweg (2)	-10 à -20%
Kruithuisweg	--

9.7 Samenvatting resultaten simulatiestudie

Het doel van het VISSIM-model van de Kruithuisweg is het verkrijgen van inzicht in de verkeerskundige effecten na de introductie van ISA op het OWN. Hiertoe zijn prestatie-indicatoren opgesteld. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen effecten op de veiligheid en de efficiëntie van het verkeer. De veiligheidseffecten worden geschat aan de hand van de verlaging van de gemiddelde snelheid en spreiding, de time-to-collision (TTC) en het aantal rijstrookwisselingen. De efficiëntie-effecten worden bepaald aan de hand van zowel de verandering in reistijd (verkeerskwaliteit individuele bestuurder) als de verandering in capaciteit (verkeerskwaliteit wegbeheerder). Tabel 9.14 geeft een overzicht van de resultaten van de simulatiestudie aan de hand van de prestatie-indicatoren. Hieruit blijkt dat de meeste resultaten overeenkomen met de hypothese. Hierbij dient opgemerkt te worden dat vaak pas bij de hoogste ISA-penetratie de resultaten significant waren. De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de verkeersveiligheid weergeven scores allemaal positief. Dat wil zeggen dat de veiligheid toeneemt. De prestatie-indicator inhalen scoort positiever dan verwacht: bij lage penetratie geen toename, buiten de spits zelfs al een kleine afname bij 30% ISA. Bij hoge penetratie neemt het aantal inhaalbewegingen zelfs af met 9% in de spits en 12%-punt buiten de spits.

Tabel 9.14: Overzicht hypothese en resultaten simulatiestudie

Prestatie-indicator		Hypothese	Resultaten simulatiestudie
Veiligheid			
Snelheid	gemiddelde	+	+ (* 95%)
	spreiding	+	+ (* 95%)
TTC's	kritisch	+	+ (* 95%)
	oncomfortabel	+	+ (* 95%)
Inhalen	lage penetratie	-	0/+
	hoge penetratie	+	+ (* 30%)
Efficiëntie			
Reistijden	buiten spits	-	0
	in spits	0	0
Capaciteit	afrijcapaciteit	0	0
negatief effect: -; geen effect: 0; positief effect: +. (*=significant vanaf x% ISA)			

De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de efficiëntie van het verkeersproces weergeven duiden niet op een significante verandering van de reistijd of capaciteit. De effecten van ISA op de spreiding en het inhalen (homogenere verkeerstrom) hebben blijkbaar op de Kruithuisweg geen invloed op de (afrij)capaciteit en trajectnsnelheid. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de introductie van ISA op de Kruithuisweg een verwaarloosbaar effect heeft op de efficiëntie van het verkeersproces. Opgemerkt dient te worden dat de invloed van de kruisingen in de Kruithuisweg dermate bepalend kan zijn voor de reistijd dat een verlaging van de gemiddelde snelheid geen (significant) effect, zelfs buiten de spits. Trekt men bovenstaande conclusie door naar het OWN, dan moet er ter dege rekening meegehouden worden, dat op langere trajecten met minder kruisingen er wel een stijging van de reistijd kan optreden (zoals in het landelijke netwerk van Leeds, Carsten 2000).

Daarentegen is het effect van ISA op de verkeersveiligheid zonder twijfel positief, zij het pas (significant) aantoonbaar bij de hoge penetratie. Aan de hand van de verlaging van de gemiddelde snelheid is met behulp van de methode van Nilsson het veiligheidseffect gekwantificeerd. Tabel 9.15 toont de risicoreductie op de Kruithuisweg bij ISA-penetratie van 50% en 95%.

Tabel 9.15: Risicoreductie Kruithuisweg meetpunt 1-4, methode Nilsson.

Risicoreductie letselongevallen			percentage ISA	
meetpunt	limiet	wegtype	50%	95%
1	80 km/h	GOW-bu	~	4%
2	50 km/h	kruising (08):	11%	19%
3	50 km/h	kruising (02)	~	12%
4	50 km/h	GOW-bi	6%	11%

~ betekent geen significante verandering t.o.v. 0% ISA (p=0.05)

Hieruit kan geconcludeerd worden dat op het OWN een risicoreductie met 4% tot 19% minder letselongevallen bereikt kan worden bij een penetratie van 95% ISA. Op de GOW-bu is de reductie 4%, dat is minder dan de helft van de reductie van 11% die gehaald wordt op de GOW-bi. Op de kruisingen in het OWN zijn reducties tussen de 12 en 19% mogelijk, wanneer de limiet via een variabel ISA-systeem verlaagd wordt tot 50 km/h. Het verdient overigens aanbeveling om in een vervolgstudie tevens een scenario te simuleren waarin de limiet op kruisingen niet verlaagd wordt van 80 naar 50 km/h. Aan de hand hiervan kan dan bepaald worden wat het voordeel is van een extra verlaging van de snelheid bij nadering van een kruising. In hoofdstuk 5 is het effect van ISA op het OWN geschat op basis van een theoretische verlaging van de gemiddelde snelheid bij volledige penetratie. In tabel 9.16 worden die schattingen vergeleken met de uitkomst van de modelstudie.

Tabel 9.16: Risicoreductie OWN, methode Nilsson.

Risicoreductie letselongevallen			percentage ISA	
wegtype	limiet		95%	100%
	<i>statisch</i>	<i>(variabel)</i>	simulatie	theoretisch
GOW-bu	80 km/h	(50 km/h)	4%-(19%)	24%
GOW-bi	50 km/h		11%	34%

Hieruit kan geconcludeerd worden dat alleen op basis van de verlaging van de gemiddelde snelheden het veiligheidseffect van ISA in de modelstudie lager uitvalt dan de theoretische schatting. Dit zou betekenen dat het potentiële effect van ISA ongeveer even groot zal zijn als dat van de andere kansrijke ADA-systemen.

In het in hoofdstuk 7 besproken ISA-onderzoek werd echter de verwachting uitgesproken dat als gevolg van prestatie-indicatoren als spreiding en inhalen, het uiteindelijke effect van ISA op de veiligheid van het wegverkeer hoger kan uitvallen dan louter op basis van de gemiddelde snelheid te verwachten is. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat de Kruithuisweg als studieobject gekozen was met het oog op de duurzaam-veilige inrichting. Deze weg was al relatief veilig. De data waarop het potentiële effect van ADAS is gebaseerd, hebben betrekking op wegen in Zuid-Holland die weliswaar de functie van een Gebiedsontsluitingsweg hebben maar nog niet (allemaal) voldoen aan de (sobere) DV-inrichtingseisen (hoofdstuk 3). Het is de verwachting dat op een duurzaam-veilig ingerichte weg het effect van de andere kansrijke ADA-systemen ook lager uitvalt. De uitkomsten van de modelstudie moeten gezien worden als het extra veiligheidseffect dat ISA kan brengen na een (sobere) duurzaam-veilige inrichting van het OWN.

Hoofdstuk 10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Inleiding

Het doel van deze studie was, na analyse van de verkeersonveiligheid op het OWN en inventarisatie van bestaande en toekomstige ADAS, te bepalen welke ADAS-toepassing het grootste potentiële veiligheidseffect heeft. Van deze meest kansrijke ADAS diende vervolgens het effect op het verkeersproces (veiligheid en efficiëntie) bepaald te worden. Door het beantwoorden van de vooraf gestelde onderzoeksvragen (pagina 2) wordt dit doel bereikt. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies op een rijtje gezet. Ter afsluiting van dit onderzoeksrapport wordt een aantal aanbevelingen gedaan met betrekking tot de toepassing van ADAS op het OWN en vervolgonderzoek naar dit onderwerp.

10.2 Conclusies

- De eerste onderzoeksvragen betreffen de verkeersonveiligheid op het OWN.

Het OWN wordt hier gedefinieerd als alle hogere orde wegen die niet tot het HWN behoren. Dit zijn de verkeersaders buiten en binnen de bebouwde kom die volgens Duurzaam Veilig de functie ontsluiten hebben. Deze Gebiedsontsluitingswegen zijn gesloten voor langzaam verkeer en lopen niet door verblijfsgebieden. Het OWN blijkt meer dan de helft van zowel het totale aantal dodelijke als het totale aantal letselongevallen voor rekening te nemen. Het dodelijk risico is buiten de kom hoog, ca. 6 keer zo hoog als op de Stroomweg. Het letselongevalrisico is binnen de kom hoger dan er buiten.

Op wegvakken van het OWN spelen *langsconflicten* en de toedracht 'onvoldoende afstand bewaren' een belangrijke rol. Op de kruisingen spelen *dwarsconflicten* en de toedracht 'geen voorrang/doorgang verlenen' de belangrijkste rol. Geconcludeerd kan worden dat de kruising in de Gebiedsontsluitingsweg buiten de kom het onveiligst is vanwege het hoge fatale risico. Op dit type kruising spelen ongevallen tussen snel verkeer een grote rol.

- De tweede groep onderzoeksvragen betrof de potentiële veiligheidseffecten van ADAS op het OWN.

Naar de invloed van ADAS is reeds onderzoek gedaan door middel van modelsimulaties, rijsimulatoren, experimenten op een testbaan of met een testvoertuig en praktijktests op de openbare weg. Over de effecten op het onderliggend wegennet is echter weinig bekend.

ADA-systemen worden onderverdeeld in pre-crash, crash en post-crash systemen. De belangrijkste pre-crash systemen zijn naar functionaliteit in te delen:

1. Navigation (*navigatie*)
2. Longitudinal control (*longitudinale controle*)
3. Lateral control (*laterale controle*)
4. Collision avoidance (*botsvermijding*)
5. General control (*combinatie van longitudinale en laterale controle*)
6. Driver monitoring (*controle van bestuurder*)
7. Vehicle status monitoring (*controle van voertuig*)
8. Perception (*waarneming*)

Geconcludeerd kan worden dat met de gebruikte methode (manoeuvres en toedrachten die mogelijk voorkomen kunnen worden) weinig gezegd kan worden over de effecten van *navigatie, controle van de bestuurder en voertuig*. Bij *Longitudinale controle, laterale controle* en een *combinatie* zijn de potentiële effecten hoog. Op kruisingen kan *botsvermijding* een ruime meerderheid van de ongevallen voorkomen. Onder 'potentieel effect' wordt verstaan het aantal maximaal te voorkomen ongevallen onder ideale omstandigheden waarin sprake is van volledige invoering (100% penetratie), foutloze werking van het apparaat en foutloos gebruik door bestuurder.

Op het OWN worden ISA, ACC, Platooning, Rear-end CA, Obstacle/Pedestrian detection en Intersection Collision Avoidance (ICA) tot de meest kansrijke systemen gerekend dankzij een

hoog potentieel effect van 11 à 25% per DV-wegcategorie. Met name binnen de bebouwde kom springen ISA en ICA er uit met meer dan 30%. Hierbij is voor ISA een alternatieve schattingsmethode gebruikt. Op het OWN zou met ISA resp. ICA 18% resp. 16% van het totale aantal ongevallen (in Zuid-Holland) kunnen worden voorkomen. ICA is voorlopig nog niet operationeel, terwijl ISA reeds over 10 jaar ingevoerd kan worden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op het OWN ISA het meest kansrijke ADA-systeem is.

- De derde groep onderzoeksvragen had betrekking op het bepalen van de effecten van de meest kansrijke ADAS-toepassing op het OWN.

Uit eerder onderzoek kan geconcludeerd worden dat met ISA een effect op de verkeersveiligheid valt te verwachten van 10 à 30% dankzij een daling van de gemiddelde snelheid. Over de effecten op het OWN is nog weinig bekend. Met betrekking tot de netwerkeffecten konden geen eenduidige conclusies getrokken worden.

Microsimulatie blijkt een geschikt instrument om de effecten op de efficiëntie en veiligheid van het verkeer te bepalen. Onder de efficiëntie-effecten worden zowel verandering in reistijd (effect voor reiziger) als capaciteit (effect voor wegbeheerder) verstaan. Met behulp van het simulatieprogramma worden tevens de veiligheidseffecten geschat aan de hand van de time-to-collision (TTC), het aantal rijstrookwisselingen en de verlaging van de gemiddelde snelheid. Toepassing van ADAS op autosnelwegen is reeds veelvuldig gesimuleerd met behulp van speciaal ontwikkelde programmatuur. Programma's voor het modelleren van ADAS op het OWN zijn nog in ontwikkeling. In deze studie wordt ISA met succes gemodelleerd in het microsimulatieprogramma VISSIM en toegepast op de Kruithuisweg, een Gebiedsontsluitingsweg te Delft.

De resultaten van de simulatiestudie zijn beoordeeld aan de hand van prestatie-indicatoren. De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de verkeersveiligheid weergeven scoren allemaal positief. Dat wil zeggen dat de veiligheid toeneemt. De prestatie-indicatoren die het effect van ISA op de efficiëntie van het verkeersproces weergeven duiden niet op een significante verandering. De effecten van ISA op de spreiding en het inhalen (homogenere verkeerstrom) hebben blijkbaar op de Kruithuisweg geen invloed op de (afrij)capaciteit en trajectnelheid.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de introductie van ISA op de Kruithuisweg een verwaarloosbaar effect heeft op de efficiëntie van het verkeersproces. Opgemerkt dient te worden dat de invloed van de kruisingen in de Kruithuisweg dermate bepalend kan zijn voor de reistijd dat een verlaging van de gemiddelde snelheid zelfs buiten de spits geen (significant) effect heeft. Trekt men bovenstaande conclusie door naar het OWN, dan moet men met het volgende rekeninghouden: uit eerder onderzoek blijkt dat op langere trajecten met minder kruisingen er wel een stijging van de reistijd kan optreden.

- De laatste onderzoeksvraag betref de effecten op de verkeersveiligheid van het meest kansrijke ADA-systeem op het OWN.

Het effect van ISA op de verkeersveiligheid van het OWN is zonder twijfel positief, zij het pas (significant) aantoonbaar bij de hoge penetratie. Aan de hand van de verlaging van de gemiddelde snelheid is met behulp van de methode van Nilsson het veiligheidseffect gekwantificeerd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op het OWN een risicoreductie van 4% tot 19% minder letselongevallen bereikt kan worden.

Op de GOW-bu is de reductie 4%, dat is minder dan de helft van de reductie van 11% die gehaald wordt op de GOW-bi. Op de kruisingen in het OWN zijn reducties tussen de 12 en 19% mogelijk, als het ISA-systeem werkt met een variabele limiet waarmee de snelheid verlaagd wordt tot 50 km/h. Hieruit kan geconcludeerd worden dat alleen op basis van de verlaging van de gemiddelde snelheden het veiligheidseffect van ISA in de modelstudie lager uitvalt dan de theoretische schatting. Dit zou betekenen dat het potentiële effect van ISA ongeveer even groot zal zijn als dat van de andere kansrijke ADA-systemen.

Uit eerder ISA-onderzoek bleek echter dat als gevolg van prestatie-indicatoren als spreiding en inhalen, het uiteindelijke effect van ISA op de veiligheid van het wegverkeer hoger kan uitvallen dan louter op basis van de gemiddelde snelheid te verwachten is. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat de Kruithuisweg als studieobject gekozen was met het oog op de duurzaam-veilige inrichting. Deze weg was al relatief veilig. De data waarop het potentiële effect van ADAS is gebaseerd, hebben betrekking op wegen in Zuid-Holland die weliswaar de functie van een Gebiedsontsluitingsweg hebben maar nog niet (allemaal) voldoen aan de (sobere) DV-inrichtingseisen (hoofdstuk 3). Het is de verwachting dat op een duurzaam-veilig ingerichte weg het effect van de andere kansrijke ADA-systemen ook lager uitvalt. De uitkomsten van de modelstudie moeten gezien worden als het extra veiligheidseffect dat ISA kan brengen na een (sobere) duurzaam-veilige inrichting van het OVN.

10.3 Aanbevelingen

1. Het verdient aanbeveling het effect van DV in een eventuele vervolgstudie wel mee te nemen en in rekening te brengen op de ongevaldata. De effecten van ADAS kunnen dan vergeleken worden met de effecten van DV. Tevens kan bepaald worden wat de extra veiligheidswinst is van ADAS indien DV volledig is ingevoerd. Ook kunnen de verschillen tussen een sobere of volledige duurzaam-veilige vormgeving in kaart gebracht worden.
2. Het verdient aanbeveling in een vervolgstudie het effect van combinaties van systemen verder te onderzoeken. De verwachting is dat in de toekomst steeds meer ADAS-functionaliteiten gecombineerd zullen worden in één integraal systeem. Systemen die hier het eerst voor in aanmerking komen zijn met name Navigatie, ISA, ACC en LDWA. Deze systemen zijn nu al volop in gebruik of worden op de openbare weg getest. Een eerste combinatie van Navigatie en een vorm van vrijwillige ISA is reeds operationeel op de West-Europese autosnelwegen.
3. In een tweede versie van het VISSIM-model van de Kruithuisweg zijn drempels/plateaus toegevoegd ter vergelijking met snelheidsverlaging door ISA. Dit VISSIM-model met drempels blijkt echter niet goed te werken. Het verdient aanbeveling in een vervolgstudie dit model te verbeteren. Contacten worden inmiddels gelegd met de producent van VISSIM, PTV en met gebruikers (die misschien wel met succes drempels hebben gemodelleerd).
4. Bij oplopende penetratie met ISA-voertuigen neemt het aandeel gewone auto's in gelijke mate af, maar blijft het aandeel vrachtverkeer en bussen steeds gelijk. Hierbij is aangenomen dat alleen de auto's uitgerust worden met ISA. Het verdient aanbeveling op in eventueel vervolgonderzoek tevens het vrachtverkeer en de bussen door ISA te laten begrenzen. Het is realistischer te veronderstellen dat juist ook het beroepsvervoer bij de invoering van ISA wordt betrokken.
5. Het verdient aanbeveling in volgende simulatiestudies meer aandacht te besteden aan de toetsing/kalibratie van het model en een betere methode te zoeken voor het omzetten van empirische snelheidsgegevens in wenssnelheidsdistributies.
6. In de simulatiestudie 'ISA op de Kruithuisweg' wordt de limiet bij kruisingen via een variabel ISA-systeem verlaagd van 80 naar 50 km/h. Het verdient aanbeveling om in een vervolgstudie tevens een scenario te simuleren waarin de limiet op kruisingen niet verlaagd wordt tot 50 km/h. Aan de hand hiervan kan dan bepaald worden wat het voordeel is van een extra verlaging van de snelheid bij nadering van een kruising.
7. Bij de SWOV leeft de wens een simulatieprogramma aan te schaffen waarmee enerzijds op detailniveau DV-maatregelen als drempels en rotondes en anderzijds op netwerkniveau dynamisch routekeuzegedrag gemodelleerd kan worden. VISSIM voldoet aan deze wens. Het verdient echter wel aanbeveling vooraf goed vast te stellen aan welke andere criteria het pakket moet voldoen. Een samenwerkingsverband met een adviesbureau met VISSIM-ervaring is ook het overwegen waard.

Literatuurlijst

1. ADVISORS (2001). *State of the art on ADA systems, user needs, their evaluation results and current implementaion trends*. ADVISORS, Deliverable D1/2.1 V1. Institute for Road Savety Research (SWOV) August, 2001.
2. ADVISORS (2002). *Road network efficiency and environmental impact assessment of ADAS*. ADVISORS, Deliverable D1/4.5 V1. Institute for Road Savety Research (SWOV) August, 2002.
3. ADVISORS (2003). *ADVISORS Final Publishable Report & Annexes*. Institute for Road Savety Research (SWOV) 2003.
4. AGV/ITS (2001). *Evaluatie Intelligente Snelheidsaanpassing, Het effect op het rijgedrag in Tilburg*. AGV en ITS, Nieuwegein/Nijmegen feb 2001.
5. AVV (2001) *ISA Tilburg, Eindrapportage Praktijkproef Intelligente Snelheidsaanpassing*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, AVV, Rotterdam 2001.
6. Bastiaensen, E. G. H. J.(2000); Hoog, A. de. *AVG met ADA-technologie, Perspectieven voor veiligheid en benutting*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, AVV, 2000.
7. Biding, T. (2002) e.a. *ISA, Results of large-scale trials in Borlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999-2002*. Vägverket/Swedish National Road Administration, Borlänge, Aug 2002.
8. Carsten O., et al. (2000a). *Implementing intelligent speed adaptation in the UK: Recommendations of the EVSC project*. Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, 6-9 November, Turin, Italy.
9. Carsten, O.M.J. (2000b), Fowkes, M. *External Vehicle Speed Control: Executive Summary of Project Results*. Institute for Transport Studies, University of Leeds and The Motor Industry Research Association, July 2000.
10. Carsten, O.M.J. (2000c), Tate, F. *External Vehicle Speed Control, Final Report: Integration*. Deliverable D17. Institute for Transport Studies, University of Leeds and The Motor Industry Research Association, July 2000.
11. Comte S.L. (2000). *New systems: new behaviour?* Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 3, Issue 2, pp. 95-111
12. CROW (1997) *Handboek categorisering wegen op duurzaam veilige basis, deel 1*, CROW-publicatie 116, The national Information and Technology Centre for Transport and Infrastructure (CROW), Ede, The Netherlands 1997.
13. CROW (2002) *Handboek Wegontwerp*, Publicatienummer:164a-d. The national Information and Technology Centre for Transport and Infrastructure (CROW), Ede, The Netherlands, February 2002.
14. Eenink R. G. (2001b), Minnen, J. van. *Anticipatie op ITS in een duurzaam veilige weginfrastructuur*. report [R-2001-31] Institute for Road Savety Research (SWOV) 2001.
15. Eenink, R.G. (2001a), Oei, H.L.. *Ontwikkelingen op het gebied van ITS*. report [R-2001-17] Institute for Road Savety Research (SWOV) 2001.
16. ETSC (1999) *Intelligent transportation systems and road savety*. European Transport Safety Council. Brussels 1999.
17. Finch, D (1994), P. Kompfner, C. R. Lockwood and G. Maycock. *Speed, speed limits and accidents*. Transport Research Laboratory Project Report 58, U.K. Department of Transport, London, 1994.
18. Haddon W. Jr. (1972). A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. *J Trauma*, 12(3):193-207.
19. Hale, A.R. (1994). *Inleiding algemene veiligheidskunde*. Delft University of Technology (TU Delft) 1994.
20. Harten, M. van (2002). *Conflicten op duurzaam-veilige wegcategorieën*. Stagerapport, begeleiding: Jagtman, H.M. Institute for Road Savety Research (SWOV) & Delft University of Technology (TU Delft) 2001
21. Heijden, R.E.C.M. (1999). *Automation of driver support: introduction to the research challenges*. In: *Automation of car driving: Exploring societal impacts and conditions*, Editors: Heijden, R. E.C.M. v.d. & Wiethof, M. TRAIL Research School, Delft University Press, Delft 1999.
22. Heijer, T. (1996), Wouters, P.I.J. *In-car elektronica zwaar verkeer*. report [R-96-46] Institute for Road Savety Research (SWOV) 1996.

23. Heijer, T. (1997) *Safety effects of in-car telematics: a checklist, Determining possible adverse effects of telematic systems on the driving task*. Institute for Road Safety Research (SWOV) 1997.
24. Hiramatsu, K., K. Satoh & F. Matsukawa (1997). *Estimation of the number of fatal accidents reduced by advanced safety vehicle (ASV) technologies*. Proceedings of the 4th World congress on Intelligent Transport Systems, ITS Congress Association, Brussels.
25. Hoedemaker, M. (1999). *Behavioral reactions to advanced cruise control: results of a driving simulator experiment*. In: *Automation of car driving: Exploring societal impacts and conditions*, Editors: Heijden, R. E.C.M. v.d. & Wiethof, M. TRAIL Research School, Delft University Press, Delft 1999.
26. Hogema, J. (2002), Schuurman, H., Tampère, C.M.J. *ISA Effect Assessment: From driving behaviour to traffic flow*. TNO Human Factors/Inro & AVV. Proceedings ICTCT workshop Nogoya 2002.
27. Hoogendoorn S.P. (2003), Botma, H., Minderhoud, M.M.. *Traffic flow theory and simulation*; dictaat vk4821. Delft University of Technology (TU Delft) 2003
28. Hoogendoorn, S.P. (2001), Minderhout, M.M.. *ADAS Impact Assessment by Micro-Simulation*. Delft University of Technology (TU Delft) , EJTIR, 1, no. 3, 2001.
29. Hoogendoorn, S.P. (2000) *ADAS Traffic Impacts Assessed by Micro-Simulation*. ADVISORS, TRAIL Research School /Delft University of Technology (TU Delft) 19 dec. 2000.
30. Horst, A.R.A. van der (1994); Hogema, J.. *Time-to-collision en anti-botsystemen*. Uit: *Verkeersgedrag in onderzoek*, Steyvers, F.J.J.M. en Horst, A.R.A. van der; Verkeerskundig Studiecentrum, Rijksuniversiteit Groningen, 1994.
31. Hummel, T. *Analyse van de veiligheidsaspecten van 'Bypasses voor bereikbaarheid'*. Intern rapport. Institute for Road Safety Research (SWOV).
32. Immers, L.H. (2001), Wilmink, I & Stada, J.E.. *Bypasses voor bereikbaarheid*. i.o.v. Vianed. report [Inro-VV/2001-28] TNO-Inro afdeling Verkeer en Vervoer 2001.
33. Jagtman, H.M. (2001), Marchau, V.A & Heijer, T. *Current knowledge on safety impacts of Collision Avoidance Systems*. Delft University of Technology (TU Delft) 2001
34. Janssen, S.T (2002). *Ongevalspatronen en ongevalsrisico's per wegtype, deel 3*. Report [R-2002-23] Institute for Road Safety Research (SWOV) 2002
35. Janssen, S.T. (2001) & Wesemann. *Verkeersveiligheid in Zuid-Nederland*. Institute for Road Safety Research (SWOV) 2001
36. Kaplan, S. & J. B. Garrick (1981). *On the quantitative definition of risk*. Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, pp. 11-27.
37. Koomstra, M. J. (1978). *Pechvogels en brokkenmakers*. Hoofdstuk 14 uit: Wagenaar, W.A., Vroon, P.A. & Jansen, W.H. (red.) *Proeven op de som*. Van Loghum Slaterus, Deventer 1978.
38. Koorstra, M. J. (1996). *Dictaat Inleiding Verkeersveiligheid*, Delft University of Technology (TU Delft) & Institute for Road Safety Research (SWOV), 1996.
39. Leeds University (1996).
40. Marchau, V.A. (1996), Hoedemaeker, M., Minderhoud, M., e.a. *Veiligheid van telematicatoepassingen in het wegverkeer*. Report TRAIL Research School, Delft 1996
41. Marchau, V.A. (1999), Heijden, R.E. van der, Visser & W. de. *Driver support systems and traffic safety*. In: *Automation of car driving: Exploring societal impacts and conditions*, Editors: Heijden, R. v.d. & Wiethof, M. TRAIL Research School, Delft University Press, Delft 1999.
42. Marchau, V.A. (2000), Heijden, R.E. van der & Vree, W.G. *Strategische ontwikkelingen rond Verkeersbeheersing: De rol van ITS*. I.o.v. Meetkundige Dienst Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Delft University of Technology (TU Delft) , 2000
43. Minderhoud, M. M. (1999). *Supported driving: Impacts on motorway traffic flow*. TRAIL PhD Thesis Series T99/4. The Netherlands TRAIL Research School, Delft University Press, Delft
44. Nilsson, G. (1981) *The effects of speed limits on traffic accidents*. In: OECD Proceedings of the symposium on the effects of speed limits on traffic accidents & transport energy use, Dublin 1981 en in: VTI Särtryck No. 68 (1982), 1-10. Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) Swedish National Road and Transport Research Institute LINKÖPING, Sweden.

45. NVVP (2000) *Van A naar Beter. Nationaal Verkeers- en Vervoersplan 2001–2020, deel A Hoofdlijnen van beleid*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Den Haag 2000.
46. OECD (1984). *Integrated road safety programmes*. OECD, 1984.
47. Oei, H.L (1999). *Advanced Cruise Control*. report [R-99-23] Institute for Road Safety Research (SWOV) 1999.
48. Oei, H.L (2001a). *Mogelijke veiligheidseffecten van navigatiesystemen*. report [D-2001-17] Institute for Road Safety Research (SWOV) 2001.
49. Oei, H.L (2001b). *Veiligheidsconsequenties van ISA*. report [R-2001-11] Institute for Road Safety Research (SWOV) 2001.
50. Perdok, J. (2001) & Rij, C. van. *Methodologie ISA 2e fase. Haalbaarheid proefproject verkeersveiligheidsaspecten*. Mu Consult i.o.v. AVV. 2001.
51. SWOV (1992) *Naar een duurzaam veilig wegverkeer*. report [R] Institute for Road Safety Research (SWOV) 1992.
52. SWOV (1996). *De bakens verzetten. Een discussienota over beleidsimpulsen om de taakstellingen op het gebied van de verkeersveiligheid weer binnen bereik te brengen*. [report R-96-5] Institute for Road Safety Research (SWOV) 1996.
53. Taylor, M.C.(2000), e.a.. *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. TRL Report 421, TRL 2000.
54. US DoT (2000) *National Intelligent Transportation Systems Program Plan. Five-Year Horizon*. ITS Joint Program Office. U.S. Department of Transportation (DoT), Federal Highway Administration, Washington, D.C. August 2000.
55. Várhelyi, A. & T. Makinen (2001). *The effects of in-car speed limiters: Field studies*. Transportation research. Part C, Emerging technologies, Vol. 9C, No. 3, pp. 191-211
56. Várhelyi, A.(1998), Comte, S. & Mäkinen, *Evaluation of in-car speed limiters. Final report Master Deliverable D11*, VTT Finland, 1998.
57. Verwey, W.B. (1994) & Heijer, T. *Linking driver visual workload to Inductive loop measurements on near-congested freeways*. Contractor: SWOV. Report [TNO-TM 1994 C-42] TNO Institute for Human Factors, Soesterberg 1994.
58. Visser, W. de, V.A.W.J. Marchau & R.E.C.M. van der Heijden (1999) *The cost-effectiveness of future driver support systems* in D. Roller (ed.) 32nd International Symposium on Automotive Technology & Automation, Automotive Automation Ltd, Croydon, p. 421-428
59. Visser, W. de (1998). *De toekomst is gisteren al begonnen; een methodische verkenning van de veiligheidseffecten van een gebruik van telematica in het wegverkeer*. MSc thesis Delft University of Technology (TU Delft)) 1998.
60. Wegman, F.C.M. (2000) *Mobiliteit mag - Veiligheid moet; Inleiding ter gelegenheid van het Nationaal Verkeersveiligheidscongres, 13 april 2000*, report R Institute for Road Safety Research (SWOV) 1/9/2001.
61. Wegman, F.C.M. (1998). *Introductie Duurzaam Veilig*. In: *Reader voor het vijfdejaarskeuzevak Verkeersveiligheid Verkeerskunde CTvk5810*. Institute for Road Safety Research (SWOV) 2000.
62. Wegman, F.C.M. (2001a). *Collegedictaat verkeersveiligheid*. Institute for Road Safety Research (SWOV) 2001.
63. Wegman, F.C.M. (2001b). *Veilig, wat heet veilig? SWOV-visie op een veiliger wegverkeer*. [report R-2001-28] Institute for Road Safety Research (SWOV) 2001.
64. Wiedemann, R. (1974) *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8. 1974.
65. Wiedemann, R. (1991) *Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads*. In: *Advanced Telematics in Road Transport* edited by the Commission of the European Community, DG XIII, Brussels 1991.

Bronnen

66. Tele Atlas (2003). *Speeding Tickets in Europe – a thing of the past!* Persbericht Tele Atlas Europe, Gent 18 september 2003.
67. Verkeersonderzoek Westland (1999), in opdracht van: Stadsgewest Haaglanden, Provincie Zuid-Holland en Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland; uitgevoerd door: Grondmij Verkeer & Infrastructuur, De Bilt, 24 november 1999
68. Bretel (2002), Telgegevens 1996-2002, VEVIS Rap. 4.5; Provincie Zuid-Holland, Directie Ruimte en Mobiliteit, Bureau Verkeer

