

Matrixborden in Nederland

- Een studie naar kosteneffectiviteit -

C.M.A.S. van Dooren

Master thesis Transport Infrastructure and Logistics

Matrixborden in Nederland

- Een studie naar kosteneffectiviteit -



MATRIXBORDEN IN NEDERLAND

- *Een studie naar kosteneffectiviteit* -

MASTER THESIS

in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science
in Applied Physics

at the Delft University of Technology,
to be defended publicly on Friday December 19, 2014 at 10:00 AM.

Author	:	Celine Marina Adrienna Sasja van Dooren	
Professor	:	Prof. Dr. Ir. S. Hoogendoorn	TU Delft
Supervisor	:	Dr. V.L. Knoop	TU Delft
		Dr. J.A. Annema	TU Delft
		Ir. M. ten Cate	PwC
Postal Address	:	Section for Civil Engineering & Geosciences Department of Transport & Planning Delft University of Technology P.O. Box 5028 The Netherlands	
Telephone	:	(31) 15 2781328 (secretary)	
Telefax	:	(31) 15 2781189	

*An electronic version of this thesis is available at <http://repository.tudelft.nl/>
Contact: celinevdooren@gmail.com*

VOORWOORD

Deze master thesis is geschreven als onderdeel van mijn Master “Transport Infrastructure and Logistics” aan de Technische Universiteit van Delft. De opdracht is gefaciliteerd door PwC.

Ik heb van veel verschillende mensen ondersteuning gekregen. Allereerst wil ik mijn professor Serge Hoogendoorn bedanken voor zijn inspanning en de “juiste suggesties op kritische momenten”. Hij is zeer gepassioneerd in zijn vak en heeft mij geïnspireerd. De interessante discussies en feedback van mijn begeleiders, Jan-Anne Annema en Victor Knoop, waren daarnaast ook zeer waardevol.

Vanuit PwC wil ik Max ten Cate enorm bedanken voor de ondersteuning, goede sparringssessies en de rust en positiviteit die hij op mij wist over te brengen tijdens dit onderzoek. Daarnaast wil ik Fons Kop en Olga Huibregtse bedanken voor hun ervaring en kennis die zij met mij hebben gedeeld.

Mijn vriend Stefan Dubbeldam heeft mij getriggerd mijn grenzen te verleggen, geholpen en gemotiveerd. Verder wil ik ook zijn ouders - Anneke Slob en René Dubbeldam - bedanken voor het warme onthaal en met name ook hun advies en ondersteuning.

Ik wil ook mijn ouders – Jan en Marina van Dooren – en mijn broer en zus – Quinten en Laura van Dooren - bedanken voor hun goed gemutste telefoongesprekken in de vroege ochtend op weg naar het PwC-kantoor in Amsterdam.

Celine van Dooren
1547526

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	II
AFKORTINGEN.....	X
EXECUTIVE SUMMARY.....	II
SAMENVATTING.....	XII
NOTATIE	XII
HOOFDSTUK 1 INLEIDING	1
1.2 DYNAMISCH VERKEERSMANAGEMENT	1
1.3 PROBLEEMANALYSE.....	3
1.4 ONDERZOEKSVRAAG.....	5
1.5 DOELSTELLING EN RELEVANTIE	5
1.6 MULTIDISCIPLINAIRE INVALSHOEK.....	7
1.7 ONDERZOEKSMETHODEN EN AFBAKENING.....	8
HOOFDSTUK 2 THEORETISCH KADER.....	11
2.1 VERKEERSSTROOMTHEORIE	11
2.2 BOTTLENECKS.....	13
2.3 KWETSBARE WEGGEDEELTES.....	17
2.4 TUSSENTIJDSE CONCLUSIE.....	21
HOOFDSTUK 3 EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN VOLGENS DE LITERATUUR	23
3.1 EERSTE-ORDE EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN ALS PRESTATIE-INDICATOREN.....	23
3.2 METEN VAN DE PRESTATIE-INDICATOREN	27
3.3 EFFECTMETINGEN VAN MATRIXBORDEN	30
3.3 TUSSENTIJDSE CONCLUSIE.....	34
HOOFDSTUK 4 ONZEKERHEIDSANALYSE VIA EXPERT ELICITATION.....	39
4.1 ONZEKERHEIDSANALYSE	39
4.2 RESULTATEN EXPERT SCORES.....	42
4.3 RESULTATEN EXPERT ELICITATION	49
4.4 TUSSENTIJDSE CONCLUSIE	58
HOOFDSTUK 5 OPBOUW VAN HET ONDERSTEUNEND BESLISMODEL EN GEVOELIGHEIDSANALYSE	63
5.1. NUL-SITUATIE EN OPBOUW VAN DE THROUGHPUT.....	63
5.2 NUL-SITUATIE.....	68
5.3 MODELLERING VAN BEREIKBAARHEID	70
5.3 MODELLERING VAN VEILIGHEID	75
5.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE	79
5.5 TUSSENTIJDSE CONCLUSIE.....	81
HOOFDSTUK 6 RESULTATEN.....	85
6.1 RESULTATEN A7	85
6.2 RESULTATEN A12	89
6.3 RESULTATEN A10	91
6.4 VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN AID	94
6.5 ALGEMENE VERGELIJKING RESULTATEN	96
6.6 RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE.....	102
6.7 TUSSENTIJDSE CONCLUSIE.....	105

HOOFDSTUK 7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	109
7.1 EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN	109
7.2 MAATSCHAPPELIJKE BATEN VAN MATRIXBORDEN	111
7.3 VERHOUDING KOSTEN-BATEN	112
7.4 REFLECTIE OP METHODEN EN RESULTATEN.....	113
7.5 AANBEVELINGEN.....	116
HOOFDSTUK 8 PERSOONLIJKE REFLECTIE	119
LITERATUURLIJST.....	123

BIJLAGE (LOSGEKOPPELD)

BIJLAGE 1 LIJST MET GEÏNTERVIEWDE EXPERTS.....	7
BIJLAGE 2 HET MATRIXBORD	8
BIJLAGE 3 BELANGHEBBENDEN.....	15
BIJLAGE 4 BEGRIPPENKADER	19
BIJLAGE 5 ONDERDELEN THEORETISCH KADER.....	21
BIJLAGE 6 PRESTATIE-INDICATOREN EN EFFECTSTUDIES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BIJLAGE 7 EXPERT PANEL - EXPERT ELICITATION.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
BIJLAGE 8 OPZET BESLISMODEL	68
BIJLAGE 9 RESULTATEN	80

FIGUREN

Figuur 1. DVM als verkeersmanagementfunctie.....	2
Figuur 2. Functionele hiërarchie van Motorway Traffic Management (MTM)	2
Figuur 3. Schematische opbouw onderzoek	8
Figuur 4. Microscopisch en macroscopisch niveau voor analyse verkeersstromen	12
Figuur 5. Congestievorming door bottleneck.....	13
Figuur 6. Vorming van wachtrij	14
Figuur 7. Verticale wachtrijtheorie en effecten op verkeerstroom	15
Figuur 8. Factoren die capaciteit beïnvloeden	16
Figuur 9. Overzicht focus (scope) van het onderzoek	27
Figuur 10. Invloed van snelheidslimieten op de verkeersstroom volgens Zackor	31
Figuur 11. Invloed van snelheidslimieten op de verkeersstroom volgens Hegyi.....	31
Figuur 12. Overzicht “input”	37
Figuur 13. De ‘zeven stappen’ voor Expert Elicitation	39
Figuur 14. Overzicht van vragen en als voorbeeld de resultaten van expert 2 op de seed variabelen.....	42
Figuur 15. Resultaatoverzicht per vraag door elke expert.....	48
Figuur 16. Verandering in capaciteit per portaalafstand – Homogeniseren	49
Figuur 17. Verandering in capaciteit per portaalafstand – AID	50
Figuur 18. Verandering van het effect van matrixborden Randstad – Buitengebied	51

Figuur 19. Verandering in het totaal aantal ongevallen per portaalafstand – Homogeniseren	52
Figuur 20. Verandering in het totaal aantal ongevallen per portaalafstand – AID.....	53
Figuur 21. Verandering in het secundaire ongevallen gedifferentieerd naar portaal afstand – Homogeniseren	53
Figuur 22. Verandering in het secundaire ongevallen gedifferentieerd naar portaal afstand - AID	54
Figuur 23. Verandering in het secundaire ongevallen per portaalafstand – Kruis-pijl	55
Figuur 24. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 90 (maximale snelheid 100 en 130 km/uur).....	56
Figuur 25. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 70 (maximale snelheid 100 en 130 km/uur).....	57
Figuur 26. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 100 (maximale snelheid 130 km/uur).....	57
Figuur 27. Overzicht deel 3 “Throughput”	61
Figuur 28. Stroomschema beslismodel	63
Figuur 29. Schematische opbouw van het onderzoeksgebied.....	66
Figuur 30. Uiteenzetting van interventies geeft 27 scenario’s	67
Figuur 31. Uiteenzetting van de intensiteitsverdeling per onderzoeksgebied	69
Figuur 32. Schematische weergaven modellering voor bereikbaarheid	71
Figuur 33. (links) Schematisch overzicht modellering (rechts) (U,I)-diagram	73
Figuur 34. Maatschappelijke kosten (in miljoen Euro) van verkeersongevallen	76
Figuur 35. Overzicht “Output”.....	83
Figuur 36. De baten van de prestatie-indicator bereikbaarheid voor de AID per onderzoeksgebied	95
Figuur 37. Jaarlijkse resultaten van AID op prestatie-indicator veiligheid	95
Figuur 38. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A7	96
Figuur 39. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A12	97
Figuur 40. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A10	97
Figuur 41. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit AID	99
Figuur 42. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit homogeniseren	99
Figuur 43. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit kruis-pijl	100
Figuur 44. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor AID naar type weg, en uitvoeringsmaatregel	101
Figuur 45. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor homogeniseren naar type weg, en uitvoeringsmaatregel	101
Figuur 46. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor homogeniseren naar type weg, en uitvoeringsmaatregel	102

TABELLEN

TABEL 1. AFKORTINGEN	X
TABEL 2. GROOTHEDEN OP MICROSCOPISCH- EN MACROSCOPISCH NIVEAU	11
TABEL 3. OVERZICHT VAN I/C VERHOUDING	17
TABEL 4. UITEENZETTEN VAN CRITERIA EN PARAMETERS VOOR AFBAKENING FILELOCATIES	20
TABEL 5. EERSTE-, TWEEDE EN DERDE-ORDE EFFECTEN	23
TABEL 6. OVERZICHT EFFECTEN EN FUNCTIONALITEITEN VAN MATRIXBORDEN	24
TABEL 7. OVERZICHT EERSTE-ORDE EFFECTEN	26
TABEL 8. RESULTATEN LITERATUURSTUDIE MET BETREKKING TOT VEILIGHEID	29
TABEL 9. RESULTATEN VAN 9 EXPERTS OP SEED VARIABLEN	44
TABEL 10. RESULTATEN ROBUUSTHEIDANALYSE SEED VARIABLEN	46
TABEL 11. EINDRESULTAAT BEOORDELING EXPERTS NA ELIMINATIE EXPERT 1 EN 3	47
TABEL 12. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP DE CAPACITEIT	58
TABEL 13. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP DE TOTALE VERKEERSONGEVALLen	59
TABEL 14. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP DE SECUNDAIRE VERKEERSONGEVALLen	59
TABEL 15. OBJECTEN MATRIXSIGNAALGEVER	68
TABEL 16. OVERZICHT INVESTERINGSKOSTEN MATRIXSIGNAALGEVERS	68
TABEL 17. EIGENSCHAPPEN A7	69
TABEL 18. EIGENSCHAPPEN A12	69
TABEL 19. EIGENSCHAPPEN A10	70
TABEL 20. VOT PER WERK EN WEEKENDDAG	71
TABEL 21. SLACHTOFFERKOSTEN PER TYPE ONGEVAL	76
TABEL 22. KANS OP ONGEVALLen PER MILJOEN VOERTUIGKILOMETER	77
TABEL 23. RELATIEVE KANS OP ONGELUKKEN PER TYPE WEGVAK	78
TABEL 24. NUL-SITUATIE A7	85
TABEL 25. BATEN FUNCTIONALITEIT AID - A7	85
TABEL 26. BATEN FUNCTIONALITEIT HOMOGENISEREN – A7	86
TABEL 27. BATEN FUNCTIONALITEIT KRUIS-PIJL – A7	87
TABEL 28. RESULTAAT MKBA – AID – A7	88
TABEL 29. RESULTAAT MKBA – HOMOGENISEREN – A7	88
TABEL 30. RESULTAAT MKBA – KRUISPIJL - A7	88
TABEL 31. NUL-SITUATIE A12	89
TABEL 32. BATEN FUNCTIONALITEIT AID - A12	89
TABEL 33. BATEN FUNCTIONALITEIT HOMOGENISEREN – A12	90
TABEL 34. RESULTAAT MKBA – KRUIS-PIJL – A12	90
TABEL 35. RESULTAAT MKBA – AID – A12	91
TABEL 36. RESULTAAT MKBA – HOMOGENISEREN – A12	91
TABEL 37. RESULTAAT MKBA – KRUIS-PIJL – A12	91
TABEL 38. NUL-SITUATIE A10	92
TABEL 39. BATEN FUNCTIONALITEIT AID - A10	92
TABEL 40. BATEN FUNCTIONALITEIT HOMOGENISEREN – A10	92
TABEL 41. BATEN FUNCTIONALITEIT KRUIS-PIJL – A10	93
TABEL 42. RESULTAAT MKBA AID – A10	93
TABEL 43. RESULTAAT MKBA – HOMOGENISEREN – A10	94
TABEL 44. RESULTAAT MKBA – KRUIS-PIJL – A10	94
TABEL 45. EFFECT VAN INPUTVARIABLEN OP DE TOTALE KOSTEN	103
TABEL 46. GEVOELIGHEIDSANALYSE CAPACITEIT OP PRESTATIE-INDICATOR BEREIKBAARHEID	103
TABEL 47. RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE TOTALE ONGEVALLen – AID - OP VEILIGHEID	104
TABEL 48. RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN KANS OP ONGEVALLen OP KOSTEN	104
TABEL 49. VERDELING VAN DE VOT VOOR WERK- EN WEEKENDDAG	105

TABEL 50. OVERZICHT KOSTEN- BATEN AID	105
TABEL 51. OVERZICHT KOSTEN- BATEN HOMOGENISEREN	105
TABEL 52. OVERZICHT KOSTEN- BATEN KRUIS-PIJL	105
TABEL 53. EFFECTEN OP BASIS VAN WETENSCHAPPELIJKE EN PRAKTIJK GEBASEERDE EFFECTSTUDIES	109
TABEL 54. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP DE CAPACITEIT	110
TABEL 55. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP DE TOTALE VERKEERSONGEVALLEN	110
TABEL 56. EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN OP SECUNDAIRE VERKEERSONGEVALLEN.....	110
TABEL 57. BATEN UIT VOERTUIGVERLIESUREN VOOR VERSCHILLENDE INTERVENTIES	115

AFKORTINGEN

Tabel 1. Afkortingen

Afkorting	Betekenis
AID	Automatische Incident Detectie
AVV	Adviesdienst Verkeer en Vervoer
CRF	Capaciteitsreductiefactor
DM	Decision Maker (DMaker)
DVM	Dynamisch verkeersmanagement
EE	Expert Elicitation
GPS	Global Positioning System
I / C	Intensiteit / Capaciteit (ratio)
IRR	Internal Rate of Return
KIM	Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
km	Kilometer
LMS	Landelijke model systeem Verkeer & Vervoer
m	Meter
MB	matrixbord
MC	Monte Carlo simulatie
MIRT	Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport
MKBA	Maatschappelijk Kosten en Baten Analyse
MTM	Motorway Traffic Management
MTR+	Maandelijkse telpunten rapportage
MVW	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
NCW	Netto Contante Waarde
NPV	Net Present Value
OECD	Organisatie voor Economische Samenwerking
PAE	Personen Auto Equivalent
RWS	Rijkswaterstaat
SWOV	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TU	Technische Universiteit
VCNL	Verkeerscentrum Nederland
VOT	Value of Time
VSL	Variable Speed Limit Systems
VVU	Voertuigverliesuren
VW	Verticaal wachtrijmodel
WIU	Werk in Uitvoering

NOTATIE

h_t	s	Volgtijd
h_x	m	Volgafstand
v	Km/uur	Snelheid
L	m	Lente voertuig
q	Mtv/uur	intensiteit
k	Mtv/km	Dichtheid
U	Km/uur	Gemiddelde snelheid
C_{pae}	Pae/uur	Kritieke intensiteit / capaciteit
F_{pae}		factor
q_{in}	Mtv/uur	Inkomende stroom, intensiteit
q_{uit}	Mtv/uur	Uitgaande stroom, intensiteit
N		Aantal auto's
C	Mtv/uur	Capaciteit, maximale intensiteit
$C_{(e)}$		Calibratie score
$l_{(e)}$		Informatie score
$Ind_{(\infty)}$		Informatie score 1 of 0
GW_{DM}		Global Gewicht verdeler
\bar{p}		Gewogen gemiddelde kans
g_i		Kans ongevallen per wegvak
x_i		Aantal wegvakken met kans i
n_w		Aantal wegvakken
Voertuigkilometer	$vtgkm$	Voertuig afgelegde afstand van één kilometer
V^*	Km/uur	Aangepaste snelheid
$V_{i/c}$	Km/uur	Snelheid op basis van I/C
V_{mb}	Km/uur	Snelheid van het matrixbord
G_{EE}		Percentage opvolggedrag
C		
C^*	Mtv/uur	Nieuwe capaciteit
f_{crf}		Capaciteitsreductiefactor
C_{EE}		Effect op capaciteit uit Expert Elicitation
VVU_{I/C^*}	$Uren$	Voertuigverliesuren met matrixborden (I/C)
VVU_{VW^*}	$Uren$	Voertuigverliesuren met matrixborden (VW)

EXECUTIVE SUMMARY

Traffic jams are daily occurring in the Netherlands. The Dutch government has mainly focused so far on expanding the existing highway infrastructure to reduce the problem of traffic jams. The government does not only aim to reduce both the length and the frequency of traffic jams, but wants also to reduce the number of traffic accidents. Therefore, other measures than the expansion of infrastructure such as the introduction of (dynamic) traffic management systems are being taken. These traffic management systems with for example Dynamic Route Information Panels or Variable Speed Limit (VSL) systems aim to improve both the traffic flow and safety.

The government budgets for the expansion of infrastructure are gradually decreasing. Therefore, the government is interested in other cost-effective measures to reduce traffic congestion and improve safety through additional investments in VSL systems.

Rijkswaterstaat - the Dutch government agency responsible for the design, construction, management and maintenance of the main infrastructure facilities in the Netherlands, including the main road network - is also responsible for the management and operation of the VSL systems. Given this responsibility Rijkswaterstaat is interested in having good insight into the cost-effectiveness of VSL systems both on the traffic flow and on safety. This growing interest in effectiveness of VSL systems is also related to the increasing need to better inform motorists through traffic management systems. As motorists, with new in-car systems, require more and accurate information, Rijkswaterstaat wants to live up to these expectations in a cost-effective way. However, at present there is no clear insight into the effectiveness of VSL systems in relation to the costs.

Literature shows that defining the effectiveness of VSL systems is complex, because there are no standards and clear benchmarks are missing. There are a few studies –both from a scientific and practical perspective - on the effectiveness of VSL systems, but the results of these studies vary considerably. Moreover, there are hardly any studies on the cost-effectiveness of these systems. In fact, there is no clear, evidence-based social- cost benefit analysis on MTM systems in the Netherlands.

Therefore, this research focuses on different policy options related to the investment and operation of MTM systems aiming for a better insight into the cost-effectiveness of these systems. The policy options in this study are related to the different interventions (combinations of functions of VSL systems and distances between portals) for VSL on different highways.

The main research question is divided in three sub-questions:

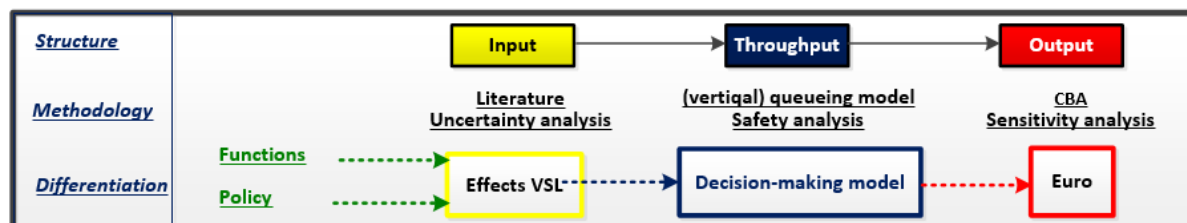
1. What are the effects –and related uncertainties- of VSL for different policy options?
2. What social benefits do VSL have in regard to network performance on Dutch highways?
3. How are social benefits of different policy options related to costs of VSL?

Research methods

In order to answer the main research questions an Excel-based ‘prototype supported decision-making model’ has been developed, which is meant to provide decision-makers on investments in VSL with evidence on the cost-effectiveness of such investments.

This research makes use of the following main research methods that are presented in Figure i: a (vertical-queueing) traffic model, an uncertainty analysis in the form of Expert Elicitation, a social cost- benefit analysis, and a sensitivity analysis (Monte Carlo).

Figure i. Research methods in relation to the supported decision-making model



The decision model is based on two underlying **traffic models**, which have been derived from literature. Firstly, the model is based on an extended (vertical queueing) traffic model. According to this model it is assumed that vehicles on a roadway do not back up over the length of the roadway, which would be considered a horizontal queue, but rather stack up upon one another at the point where congestion begins. The vertical queue allows vehicles in an analysis to drive at the free flow speed until reaching the point of congestion. Vehicles only incur delay while in congestion, but do not incur any delay traveling to the point of congestion. This is a simplification of reality and underestimates the delays. Although this simplification is widely accepted by traffic flow theorists, in this research the vertical queueing traffic model has been adjusted to allow for a more realistic approach. The delays incurred to the point of congestion have been calculated on the basis of the relation between Intensity and Capacity (I/C relation) on the basis of fundamental traffic diagrams. In this way the vertical queue has been extended and also includes an approximation of the delay incurred before the point of congestion.

Given the considerable uncertainty regarding the main input variables to quantify and measure the effects of VSL, an **uncertainty analysis** was performed. Expert Elicitation is a recognized scientific method for uncertainty quantification. It involves a structured process to elicit subjective judgments from experts. Expert elicitation aims at a credible and traceable account of specifying probabilistic information regarding uncertainty, in a structured and documented way. Typically it is applied in situations where there is scarce or insufficient empirical material for a direct quantification of uncertainty, and where it is relevant to obtain inscrutable and defensible results. This is the situation that applies for the

assessment of the effects of VSL. For this research Expert Elicitation did provide evidence-based, verified quantitative information on effects of VSL. This quantitative information concerns primarily the traffic flow and the safety of traffic on the Dutch highways, while it also reflects the statistic dispersion of VSL-effects. Results out of the Expert Elicitation have served as input-data for the supported decision-making model.

In addition, the capacity has been modelled as a simplified stochastic variable, based on literature. This research aims to assess the changes in capacity on the basis of the input values derived from the Expert Elicitation and the I/C relation. In reality, capacity is influenced by the speed and the time headway drivers pursue. The model is based on a simplified macroscopic simulation as a good approximation of reality. A risk and impact model has been used to calculate the frequency of accidents in order to assess the VSL effects on safety.

The decision model provides the input-data for the **social cost-benefit analysis**, which is an accepted tool for decision-making on investments in infrastructure (and other) projects. The model is set-up to measure significant changes in two key performance indicators ‘accessibility’ – expressed in time lost in traffic jams in hours (lost vehicle hours)- and ‘safety’ – expressed in changes in traffic accidents. After measuring the effects on accessibility and safety, monetary values have been attached to these effects. The benefits, which are the quantified monetary effects, have been analyzed in relation to the costs of VSL.

Finally, a **sensitivity analysis** by applying Monte Carlo simulation has been carried out to assess the sensitivity of the outcomes of the model. Monte Carlo simulation is a computerized mathematical technique that allows to account for risk in quantitative analysis and decision making and is therefore appropriate for this research. Monte Carlo simulation builds models of possible results by substituting a range of values—a probability distribution—for any factor that has inherent uncertainties and produces distributions of possible outcome values. Given the limitations of this research the Monte Carlo research has been limited to the following three main uncertainties: the two performance indicators accessibility and safety, and the Value of Time (the monetary value attached to lost vehicle hours).

Scope of the research

To answer the research questions input values for the following **functions of vehicle speed limit signs** had to be determined:

1. Automatic Incident Detection (AID): the electronic sign board indicates a maximum speed from the moment an average speed per carriageway has been reached;
2. Homogenization: the electronic sign board indicates a temporary reduction (“70”; “80” of “90”) of the maximum speed limit;
3. Arrow-cross: in case of work in progress, accidents or breakdown a combination of a cross and arrow is shown for a specific carriageway.

As indicated above, the input values for the functions of VSL systems have been derived from the Expert Elicitation method, which allowed to reduce uncertainties regarding these input variables that could not be derived from literature.

The assessment of the effects of the three abovementioned functions has been carried out in relation to **(parts of) three selected highways** (A7, A10, A12) – respectively B, C, en D-roads based on the road network classification from Rijkswaterstaat. These roads and the selected specific road sections are characterized by structural traffic congestion. In addition, effects of VSL have also been assessed in relation to a **differentiation regarding the distance** between VSL portals (500m, 1000m and 1500m). This factor is also relevant for future decision-making regarding VSL investments.

The costs in the model are based on available data on investment costs in VSL systems and annual maintenance costs. However, there are indications that investment and maintenance costs of the detection loops might be higher than present data indicate. Also losses in terms of time for operation and maintenance of VSL systems have not been included. This means that costs might have been slightly underestimated.

Scientific relevance

This research contributes to the further refinement of the methodological framework to assess the cost-effectiveness of VSL. The literature study indicated that there are conceptual and methodological problems in this research area. Therefore, an uncertainty analysis Expert Elicitation' has been carried out, which is an innovative method in this area. The statistical approach to assess the reliability of the answers of experts proved to be very useful and allows for good insight into the statistic dispersion of VSL-effects. This contributes to more reliable insights into the effects of VSL which can be useful for further scientific research.

Societal relevance

The development of a clear and transparent decision-making model for the investment in VSL is relevant for key stakeholders given the lack of evidence-based information to support decision-making. The cost-benefit analysis provides insight into the costs and benefits of VSL systems and considers different policy options. Road authorities, such as Rijkswaterstaat could make use of this information to support their decision-making on future VSL investments. Therefore, the developed model is called a supported decision-making model.

Results

The presentation of the results of this research is complex as in total 27 implementation scenarios have been considered (3 roads, 3 VSL functions and 3 distances between portals). The results are presented in relation to the three research questions. The results have to be interpreted with care and cannot be generalized, given the limited scope of this research and some limitations related to methods, as will be explained in the reflection.

VSL effects and uncertainties

Table i presents the effects on the key performance indicators accessibility and safety as presented in literature. The values for capacity vary considerably between an increase of +1 to +15% as result of VSL. The effects on safety are also positive, because it is assessed that both the total number of accidents as well as the number of secondary accidents will decrease as a result of VSL.

Table i VSL effects on the basis of literature study

Effects	Spread
Capacity	[+ 1; +15] %
Total number of traffic accidents*	[-30;-15] %
Number of secondary traffic accidents*	[-50; -7] %

*A negative value indicates a reduction in accidents

The Expert Elicitation has provided more detailed insights and are presented in the tables ii, iii and iv The tables also indicate the statistical dispersion of VSL effects as the median and the uncertainty (range between the 5th and 95th percentile) are presented.

Table ii. VSL effects on capacity

Capacity	Median _{500m}	Spread _{500m}	Median _{1000m}	Spread _{1000m}	Median _{1500m}	Spread _{1500m}
AID	+3,5%	[0;+7,5]%	+2,4%	[0; +5]%	+1,9%	[-3,1;+5]%
Homogenization	+0,1%	[-2,2;+1]%	+0,1%	[-3,8;+1]%	+0,1%	[-3,8;+0,9]%
Cross-arrow	Not applicable		Not applicable		Not applicable	

Table iii. VSL effects on total traffic accidents

Secondary accidents	Median _{500m}	Spread _{500m}	Median _{1000m}	Spread _{1000m}	Median _{1500m}	Spread _{1500m}
AID	- 18%	[-31;-12]%	-15%	[-20;-3]%	-10%	[-15;+6,8]%
Homogenization	- 3%	[-13; 0]%	-2,6%	[-5;+0,2]%	-2,5%	[-5;+0,2]%
Cross-arrow	Not applicable		Not applicable		Not applicable	

Table iv. VSL effects on secondary traffic accidents

Secondary accidents	Median _{500m}	Spread _{500m}	Median _{1000m}	Spread _{1000m}	Median _{1500m}	Spread _{1500m}
AID	- 36 %	[-47;-20]%	- 30%	[-40;-14]%	- 19%	[-30;-7]%
Homogenization	+ 0, %	[-8; +0,2]%	+ 0,1%	[-6;+0,2]%	+ 0,1%	[-3;+0,3]%
Cross-arrow	-46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-4]%

These outcomes show that these effects are lower than the effects presented in literature. The experts indicate that only AID has a positive effect on capacity, but this effect is declining when the distance between VSL portals increases. The uncertainty of these effects is lower than the uncertainty of VSL effects on capacity found in literature.

AID has also a positive effect on safety, because both the total number of traffic accidents as well as the secondary accidents show a reduction. However, this effect is less when the distance between portals increases. The cross-arrow has a positive effect on the reduction of the number of secondary traffic accidents.

Homogenization has only limited effects on capacity and safety.

The analysis of effects for various road types indicates that effects are most positive for category C-roads (A12), while also category D-roads (A10) show considerable positive results. The effects, in particular on safety, are less positive for category B-roads (A7). This can be explained by the fact that roads with a high daily traffic intensity (cars each hour)

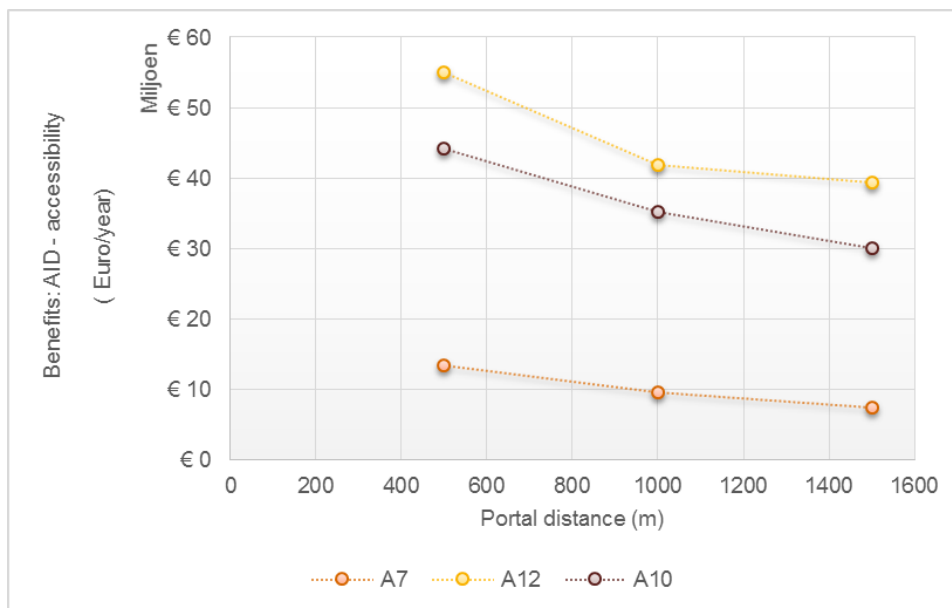
and a high number of bottlenecks occurrence such as exits are more suited for VSL (in particular the AID function).

Social benefits of VSL

The analysis points at high social benefits for the majority of the implementation scenarios. 80-90% of the total benefits are related to accessibility, which can be explained by the design of the supported decision-making model and which will be discussed in the reflection.

As AID has the most positive effects on the key performance indicators, the benefits of AID related to accessibility for the various road types are presented in the following figure.

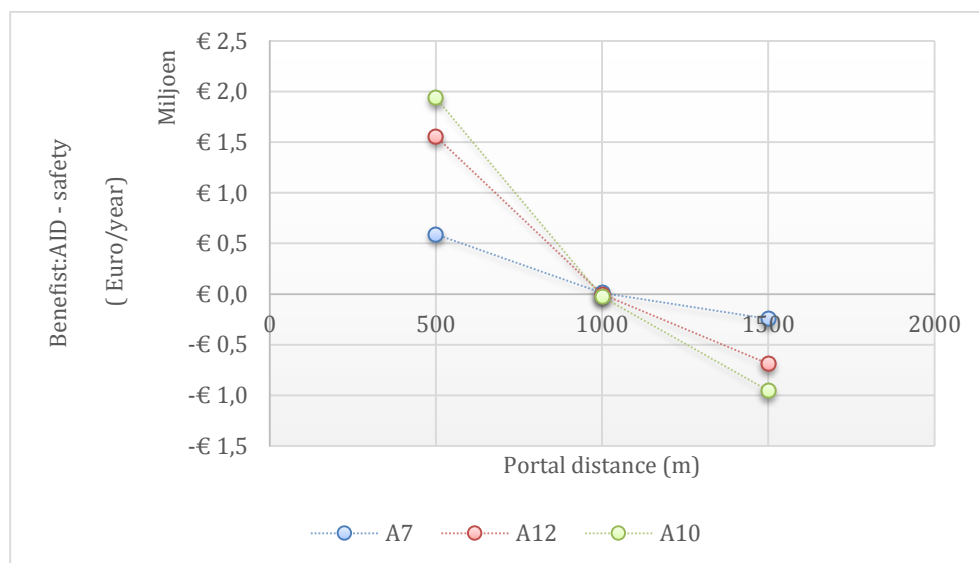
Figure ii. Benefits of AID on the performance indicator accessibility for various road types



The AID benefits are highest for the A12, followed by the A10, as was to be expected on the basis of the assessment of effects. The positive benefits decline when the distance between VSL portals increases. Homogenization does not lead to high benefits. On category B roads (A7) homogenization may even lead to negative benefits related to accessibility, which is in line with findings from literature.

Figure iii indicates the benefits of AID related to safety for the various road types.

Figure iii. Benefits of AID on the performance indicator safety for various road types



For all three road types the benefits of AID are positive for a portal distance of 500m, around 0 for 1000m portal distance, and become negative with a 1500m distance between portals. Benefits are higher with a limited distance between portals on C- and D-roads, but become quite negative with an increased portal distance. This can be explained by the high daily intensity on these roads.

Homogenization has negative benefits related to road safety. On the other hand, the cross-arrow leads to (limited) positive benefits on road safety, in particular on category D-roads (A10), which can be explained by the increased traffic accident chance related to the number of road exits.

Social costs and benefits

The tables v, vi, vii present the costs, benefits and Net Present Value for the three VSL functions per portal distance.

Table v Overview cost-benefits and NPV for AID per portal distance

AID	500m	1000m	1500m
Investment costs	1.500.000	700.000	600.000
Costs of annual maintenance	100.000	50.000	40.000
Annual benefits (in million €)	[14; 56]	[10 ;42]	[7;38]
Net Present Value(in million €)	[138; 564]	[94;420]	[70;387]

Table vi Overview cost-benefits and NPV for homogenization per portal distance

Homogenization	500m	1000m	1500m
Investments costs	1.500.000	700.000	600.000
Costs of annual maintenance	100.000	50.000	40.000
Annual benefits (in million €)	[-1,8; 6]	[-2,3 ;4,2]	[-2,4;3,4]
Net Present Value (in million €)	[-15;57]	[-23;34]	[-25;34]

Table vii Overview cost-benefits and NPV for croos-arrow per portal distance

Cross-arrow	500m	1000m	1500m
-------------	------	-------	-------

Investment costs	1.500.000	700.000	600.000
Costs of annual maintenance	100.000	50.000	40.000
Annual benefits (in million €)	[5,1; 18,5]	[3,1 ;18,3]	[3,18,3];
Net Present Value (in million €)	[28;30]	[123;124]	[30;183]

The tables show that the Net Present Value (NPV) varies between -25 million euro and +564 million euro for a period of 15 years. The NPV varies considerably per road type, per function and per portal distance as was to be expected based on the previous results. The highest NPV (€ 564 million) is found for the AID function on the A12 with a 500m portal distance. Negative values are found for homogenization on the A7 for all portal distances.

Conclusions

The following main conclusions have been formulated:

General conclusions

1. **VSL has mainly positive effects on accessibility and safety, although the effects are lower than presented in literature**, while the uncertainty of these effects has decreased compared to literature.
2. The analysis of benefits shows that **80-90% of the total benefits are related to accessibility**. This might point at a certain overestimation of the benefits, which is related to some limitations of the applied methods. This will be discussed in the reflection and lead to recommendations on follow-up research.
3. **The NPV varies considerably per road type, per function and per portal distance**. The NPV is positive for most implementation scenarios, with the exception of three scenarios related to homogenization on category B-roads (A7).

Conclusions on differences in cost-effectiveness per road type

4. **The cost-effectiveness in terms of NPV is very positive on Category C-roads, followed by Category D-roads**. These are roads with a high daily intensity with a relative large number of exits and other bottlenecks. The Cost-effectiveness on B-roads are the lowest due to a lower intensity on this road.
5. **Roads with a fluctuating daily intensity, characterized by various peaks in traffic intensity, in particular C-roads are quite sensitive to changes in portal distances**, which affect considerably the benefits.

Conclusions on differences in cost-effectiveness per VSL function

6. **AID leads to the highest outcomes in terms of NPV**, based on positive effects related to accessibility and safety. Especially the positive effects on accessibility are accountable for the high NPV values.
7. **Homogenization leads to only limited or even negative outcomes in terms of NPV**. On category C and D roads a relatively small NPV is found, while it was already mentioned that homogenization even leads to a negative NPV on the B-road A7 for all portal distances.
8. **The cross-arrow function of VSL has constant positive outcomes in terms of NPV especially for category C and D roads**, independent of the portal distance. This is related to the positive effect on secondary accidents.

Conclusions on differences in cost-effectiveness per portal distance

9. **A portal distance of 500m leads in most scenarios to the best outcomes in terms of NPV.** A portal distance of 1500m leads always to substantial lower outcomes in terms of NPV than a portal distance of 500m or 1000m.

Recommendations

Scientific recommendations

1. Apply Expert Elicitation more frequently in cost-effectiveness studies of VSL

The Expert Elicitation has allowed to substantially reduce uncertainties regarding the effectiveness of variable speed limit systems. The structured process to elicit subjective judgments from experts proved to be very valid, but also quite time-consuming. Considerable attention needs to be paid to the composition of the expert panel, which is key for this method. The next step is to test the reliability of the answers of experts based on a number of so-called seed variables. In this research 7 seed variables were identified, but it is recommended to have 15 seed variables, which would allow for better differentiation of the experts' answers. Regarding the target variables - i.e. the actual answers to key questions - more questions on more indicators could be included, depending on the scope of the research. An Expert Elicitation could also be carried out on the costs of VSL systems.

2. Make use of other traffic models

The limitations of the vertical queuing traffic model have been explained. The adjustment of the model, based on the relation between Intensity and Capacity (I/C relation) to include the delays incurred before the point of congestion, could not address all limitations of the vertical queuing model. These limitations result in a relatively high number of lost vehicle hours and therefore to relatively high benefits. Therefore, it is recommended to make use of other dynamic traffic models for future cost-effectiveness studies on VSL.

Recommendations regarding follow-up research

3. **It is recommended to further refine the design of this supported decision-making model.** The scientific recommendations already gave some suggestions regarding methods and models to be used. In addition, more attention could be paid to the adequate modelling of the relation between speed and capacity.
4. It could be considered **to make the capacity also dependent on following distance** which would allow to take the factor follow behavior of motorists into consideration.
5. **More attention could be paid to the assessment of the effects of VSL on accessibility – and thus on capacity- in relation to the main road characteristics** such as large variations in intensity during the day. In this research three main road categories have been analyzed, but only one road from each category. This provides a good basis for follow-up research.
6. It is recommended **to assess the social costs and benefits of VSL on roads where there is no structural congestion**, as it is expected that on these roads lower benefits will be realized. However, on these roads VSL systems might be installed to increase safety, which requires further analysis.

7. It is recommended **to assess the differences in cost-effectiveness of VSL systems on roads in areas with a high population density (*Randstad*) and areas with a lower population density.**
8. **Pay more attention to the assessment of costs.** In this research the costs of the VSL systems including the installation and maintenance costs have been included, based on estimates of average costs. However, some costs could not be included or might have been underestimated, especially the life time of (some parts) of the VSL systems might be shorter than expected. Therefore, a more detailed cost assessment would be useful for future cost-effectiveness studies, for example based on Expert Elicitation. Also a full Life Cycle Value analysis is recommended.

Recommendations for key stakeholders

9. **Consider expansion of the AID function on highways**, in particular for category C-roads.
10. **Reconsider investments in homogenization for roads with many bottlenecks** as the costs are high compared to the negative benefits related to safety.
11. **Consider investments in the cross-arrow function on roads that are vulnerable to secondary accidents** (for instance, roads with tunnels or many curves).

Reflection

This research has shown that it is possible to assess the cost-effectiveness of VSL on various types of roads, for various functions of VSL and for various portal distances. This has led to concrete and mainly positive outcomes for 27 different implementation scenarios. However, it should be realized that the results should be interpreted with care. The outcomes of the research indicate that cost-effectiveness assessments can support investment decisions. Especially, the relative changes in performance indicators are important and the differences between the various policy options.

The absolute outcomes in terms of benefits and costs might be slightly overestimated, as benefits might be overestimated and costs underestimated. Furthermore, the validity of the outcomes is dependent on the conditions and assumptions underlying the supported decision-making model. Some limitations of the scientific models and methods have already been mentioned, and recommendations are made how to overcome these limitations.

The modelling of capacity is another limitation of this research. The method used to consider the capacity as a stochastic variable is a simplification of reality. This is based on a macroscopic simulation that does not take into account the modelling of following distances. Therefore, individual following behavior of motorists is not considered, which would have required a microscopic simulation. In the recommendations for follow-up research and the further development of the supported decision-making model the relation between speed and capacity could be further defined, as suggested.

Despite these limitations, which were to be expected on the basis of literature, a further step forward has been made regarding the adequate assessment of social costs and benefits of VSL. As recommended already, more follow-up research is required and is relevant given both the interests of academics and key stakeholders in the cost-effectiveness of VSL

SAMENVATTING

Vrijwel alle dagen zijn er files in Nederland. Het overheidsbeleid is gericht op het verder uitbreiden van de bestaande infrastructuur, om onder andere het aantal en de omvang van files te beperken en om ook het aantal ongelukken te verminderen. Tevens worden aanvullende maatregelen geïntroduceerd, waaronder verkeerssignaleringsystemen met matrixborden (ook wel matrixsignaalgevers genoemd). Deze systemen hebben als doel de doorstroming en veiligheid verder te bevorderen. De overheid is, mede gezien door bezuinigingen op infrastructuur en de druk op de beschikbare publieke data voor infrastructuur, geïnteresseerd in het nemen van kosteneffectieve maatregelen voor de inzet van matrixborden.

De overheid, inclusief de wegbeheerder Rijkswaterstaat is geïnteresseerd in de effecten van matrixborden op de verkeerstroom om de benutting van de weg te verbeteren, mede gezien de toekomstige rol van verkeersmanagement bij het informeren van de automobilist.

De literatuur, zowel wetenschappelijke studies als op de praktijk gebaseerde studies, bieden voorsnog geen eenduidig inzicht in de effecten van matrixborden. De verschillen in effecten zijn te verklaren door het gebruik van verschillende verkeersmodellen en methoden, door verschillende definities van kernbegrippen zoals capaciteit en doordat effecten door veranderingen in wegconfiguratie en etmaalintensiteiten verschillend zijn. Hierdoor is er nog weinig zicht op maatschappelijke (kosten en) baten van matrixborden.

Er worden drie functionaliteiten van matrixborden onderscheiden, namelijk (1) Automatische Incident Detectie (AID), waarbij een maximumsnelheid wordt aangegeven vanaf het moment dat een gemiddelde snelheid per rijbaan is bereikt; (2) Homogeniseren, een statische weergave van beeldstanden “70”; “80” of “90”, waarbij deze functie onder andere in werking treedt wanneer rijstroken een hoge intensiteit hebben; (3) Kruis-pijl geeft weer de combinatie van een kruis en afdrijfpijl voor een bepaalde rijbaan, die bij werkzaamheden, ongelukken en pech wordt toegepast. Matrixborden worden op verschillende afstanden van elkaar geplaatst, namelijk met een portaalafstand 500m, 1000m of 1500m. Dit wordt ook wel beleidsuitvoering genoemd. Verder is het van belang om meer inzicht te krijgen in de verschillen in effecten van matrixborden voor verschillende typen rijkswegen in Nederland, volgens de zogenaamde B,C en D classificatie van Rijkswaterstaat.

Dit onderzoek is daarom gericht op het verder bestuderen van de kosteneffectiviteit van matrixsignaalgevers met als doel om ondersteuning te bieden bij investeringsbeslissingen.

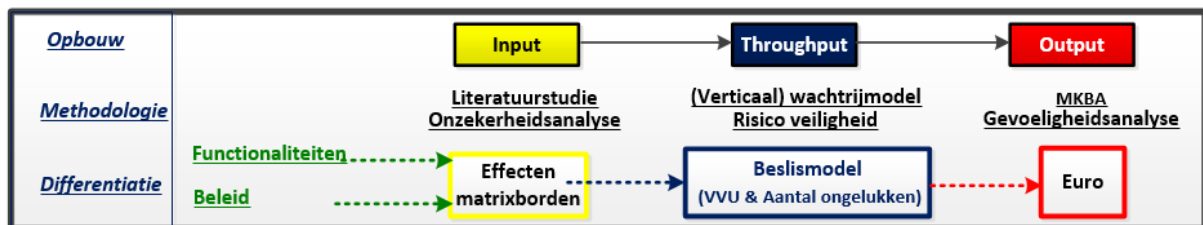
De drie onderzoeksvragen zijn als volgt geformuleerd:

1. Wat zijn (onzekerheden omtrent) effecten van matrixborden voor verschillende beleidsuitvoeringen?
2. Wat zijn maatschappelijke baten van matrixborden met betrekking tot de netwerkprestaties van rijkswegen in Nederland?
3. Hoe verhouden de baten van beleidsuitvoeringen zich tot de kosten voor deze systemen?

Onderzoeksmethoden

Dit onderzoek maakt gebruik van verschillende methoden: een onzekerheidsanalyse in de vorm van Expert Elicitation, een verticaal wachtrijmodel (met een uitbreiding voor de berekening van vertraagde afwikkeling), een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) (zie figuur i) en tenslotte een gevoeligheidsanalyse van de resultaten.

Figuur i Onderzoeksmethoden



Omdat de literatuurstudie geen eenduidige waarden opleverden voor belangrijke variabelen om de effectiviteit van matrixborden vast te stellen, is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd door middel van een zogenaamde 'Expert Elicitation' methode. Hierbij werden verkeersexperts ondervraagd over hun inschatting van effecten van matrixborden. De uitkomsten van de Expert Elicitation fungeerden als input voor een voor dit onderzoek ontwikkeld ondersteunend beslismodel (in Excel). Het beslismodel is gebaseerd op een uitgebreid wachtrijmodel waarin vertragingen door file en ongelukken worden doorgerekend. Met dit model kunnen effecten op de prestatie-indicatoren 'bereikbaarheid' en 'veiligheid' berekend worden. Vervolgens zijn de baten gemonetariseerd en afgezet tegen de kosten van matrixborden volgens de MKBA methode. Tot slot is een gevoeligheidsanalyse toegepast.

Wetenschappelijke en maatschappelijke relevantie

Dit onderzoek draagt bij aan versterken van het methodologisch wetenschappelijk kader voor onderzoek gericht op het meten van effecten van matrixborden. Met een onzekerheidsanalyse via de methode van Expert Elicitation is een bijdrage geleverd aan vernieuwend wetenschappelijk onderzoek, vooral door de statische benadering om de betrouwbaarheid van de antwoorden van experts vast te stellen. Dit kan bijdragen aan een meer betrouwbare, wetenschappelijk onderbouwde grondslag voor investeringsbesluiten in matrixborden.

Het ondersteunend beslismodel biedt relevant inzicht aan de overheid en wegbeheerders met betrekking tot de maatschappelijke kosten en baten van matrixsignaalgeversystemen. Dit draagt bij aan een meer betrouwbare, goed onderbouwde grondslag voor investeringsbesluiten in matrixborden.

Conclusies

Aangezien 27 uitvoeringsscenario's geanalyseerd zijn – drie functionaliteiten van matrixborden, drie portaalfstanden en drie geselecteerde onderzoeksgebieden, namelijk de A12 (C-weg), de A10 (D-weg) en de A7 (B-weg)- is de weergave van resultaten relatief complex. Het onderzoek heeft geresulteerd in tien hoofdconclusies:

Algemene conclusies

1. Matrixborden hebben overwegend positieve effecten op bereikbaarheid en veiligheid. De effecten zijn lager bevonden dan aangenomen in de literatuur. Tevens zijn de onzekerheden omtrent de effecten afgenomen.
2. Het grootste deel van de positieve maatschappelijke baten van matrixborden is gerelateerd aan bereikbaarheid.
3. De Netto Contante Waarde (NCW) varieert aanzienlijk per type rijksweg, per functionaliteit en per portaalafstand. De NCW is positief voor de meeste uitvoeringsscenario's, met uitzondering van homogeniseren op B-wegen (A7).
4. De baten zijn wellicht overschat en de kosten onderschat, waardoor de NCW uitkomsten te hoog kunnen zijn. Echter vooral de relatieve uitkomsten zijn van belang. Zo biedt de (soms zeer) positieve kosteneffectiviteit voor een groot aantal uitvoeringsscenario's een goede basis voor besluitvorming, terwijl vervolgonderzoek is aanbevolen.

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende wegtypes

5. De kosteneffectiviteit van matrixborden, in termen van NCW, is het meest positief voor 'C-wegen' (A12). Dit zijn (vaak) verbindingswegen tussen grote steden, waarbij op- en afritten en weefvakken om de 800m à 1000m aanwezig zijn.
6. Wegen met flinke pieken en dalen in etmaalintensiteit, in het bijzonder categorie C-wegen, zijn zeer gevoelig voor veranderingen van portaalafstanden. Zo blijkt dat wanneer AID over een 1000m maatregel wordt geplaatst dit tot een groter verschil in baten leidt op de A12(C-weg) dan op de A10 (D-weg).

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende functionaliteiten

7. De functionaliteit AID levert de meest positieve bijdrage in termen van NCW na 15 jaar. Een investering in AID levert dus, in principe, grote winst op in termen van bereikbaarheid en veiligheid (dit varieert tussen 70 miljoen en 564 miljoen Euro), waarbij de meest positieve resultaten voor de A12 zijn gevonden. Ook op D-wegen (A10) is de NCW hoog.
8. De functionaliteit homogeniseren levert slechts beperkt positieve bijdrage in termen van NCW voor de A12 en de A10 en wordt negatief voor de A7. De bijdrage van homogeniseren is relatief laag en soms negatief, vanwege de negatieve baat verkeersveiligheid.
9. De functionaliteit kruis-pijl levert een constante positieve bijdrage in termen van NCW vooral voor de A12 en de A10 (C- en D wegen), ongeacht de portaalafstand.

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende portaalafstanden

10. Een portaalafstand van 500m leidt in de meeste uitvoeringsscenario's tot een hoge NCW. Een portaalafstand van 1500m daarentegen leidt in alle gevallen tot een lagere NCW in vergelijking met portaalafstanden van 500m en 1000m.

Aanbevelingen

Het onderzoek heeft geleid tot elf aanbevelingen wat betreft wetenschappelijke methoden, vervolgonderzoek en aanbevelingen voor de overheid en wegbeheerders.

Wetenschappelijke aanbevelingen

1. Maak meer gebruik van Expert Elicitation in studies naar kosteneffectiviteit van matrixborden. Omdat dit een goede methode is om onzekerheden omtrent inputvariabelen op wetenschappelijke wijze te reduceren en inzichtelijk te maken.
2. Pas andere verkeersmodellen toe dan het verticale wachtrijmodel om beter het aantal voertuigverliesuren door file te berekenen

7.5.2. Aanbevelingen met betrekking tot vervolgonderzoek

3. Werk het ondersteunend beslismodel verder uit en verfijn dit prototype door gebruik en toepassing van wetenschappelijke methoden. Modelleer capaciteit hierbij als een (minder vereenvoudigde) stochastische waarde.
4. Neem in overweging om de capaciteit te laten afhangen van de volgafstand, zodat 'het gedrag' van automobilisten nader onderzocht kan worden
5. Er wordt aanbevolen om meer onderzoek te doen naar het effect van matrixborden op de bereikbaarheid voor wat betreft grote verschillen tussen spits- en daluren en tevens naar het effect van capaciteitsveranderingen door eigenschappen van wegen.
6. Er wordt aanbevolen onderzoeksgebieden te kiezen waar niet alleen sprake is van structurele filevorming en het onderzoek uit te breiden naar wegen waarbij geen infrastructurele files voorkomen, maar juist matrixborden zijn geplaatst om de veiligheid te waarborgen.
7. Het verdient aanbeveling om het onderscheid in effectiviteit van matrixborden op rijkswegen in de Randstad en daarbuiten beter in kaart te brengen.
8. Er wordt aanbevolen om de kosten van matrixborden gedetailleerder te onderzoeken.

Aanbevelingen voor de overheid en wegbeheerders

9. Overweeg uitbreiding van de AID functionaliteit op rijkswegen, vooral op C-wegen.
10. Op wegen waarbij kwetsbare weggedeelten aanwezig zijn, wordt geadviseerd matrixborden met de functionaliteit homogeniseren uit kostenoverwegingen niet te plaatsen. Omdat veiligheid door homogeniseren zeer negatief beïnvloed wordt en de baten uit bereikbaarheid daar niet tegenop wegen.
11. Overweeg investeringen in de functionaliteit kruis-pijl op locaties waarbij de verkeersstroom erg gevoelig is voor secundaire verkeersongevallen, zoals locaties met beperkt zicht door tunnels en bochten .

Reflectie

De gepresenteerde resultaten in dit onderzoek zijn gebaseerd op een prototype modelstudie, waarbij aannames zijn gemaakt voor de modellering. Hierdoor zijn afwijkingen mogelijk van de realiteit. Dat betreft ook beperkingen in de afbakening van het onderzoek tot wegen met infrastructurele files en de keuze om drie wegen van drie verschillende categorieën te onderzoeken. De resultaten uit dit onderzoek wijzen erop dat gedifferentieerd beleid mogelijk is. De algemene geldigheid van de uitkomsten van dit onderzoek is echter afhankelijk van de randvoorwaarden en aannames die aan dit onderzoek ten grondslag liggen. Het gaat in deze analyse met name om de relatieve verschillen in

effecten. Deze verschillen zijn, ondanks de soms zeer hoge baten, zeer duidelijk en van belang.

De onzekerheidsanalyse heeft de onzekerheid aangaande de effecten van verschillende interventies (functionaliteit gecombineerd naar afstand) transparant en helder in kaart gebracht, maar een verdere verbetering van deze methode kan tot nog meer solide uitkomsten leiden.

Niet alle baten en kosten konden in detail worden ingeschat, omdat er tekortkomingen zijn van de gehanteerde methodes of gegevens niet beschikbaar waren. Onderzoeksmethoden zoals het verticale wachtrijmodel – in combinatie met een lage selectie van de capaciteit – kunnen tot overschatting van de baten op bereikbaarheid hebben geleid. Ook kunnen de kosten wellicht onderschat zijn. Zelfs wanneer de kosten aanzienlijk hoger zijn en de baten lager, blijven de NCW voor veel uitvoeringsscenario's naar alle waarschijnlijkheid toch positief. Ondanks deze beperkingen leidt dit onderzoek tot meer relevant inzicht in de kosten en baten van matrixborden. Dit kan de besluitvormers voor investeringen in matrixborden ondersteunen. Tevens vormt het een goede basis voor vervolgonderzoek.

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Vrijwel alle dagen zijn er files in Nederland. Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) schat dat het aantal voertuigverliesuren per jaar liefst met 2,5% toeneemt (KiM, 2013). Verliestijd door files en vertragingen op het hoofwegennet wordt door Rijkswaterstaat (RWS) geschat op 46,1 miljoen voertuigverliesuren (VVU), per automobilist wordt dit geschat op 52 uur file per jaar (KiM, 2013).

Files ontstaan door een hoge verkeersvraag ten opzichte van een laag verkeersaanbod. Maatregelen om files tegen te gaan beogen zowel de vraag- als de aanbodkant te beïnvloeden. Aan de vraagkant wordt wel getracht het woon-werkverkeer te verminderen, carpoolen te bevorderen of alternatieve vormen van vervoer te stimuleren. Een maatregel aan de aanbodkant is het uitbreiden van de infrastructuur. Het fysiek uitbreiden van het wegennetwerk zorgt voor een grotere capaciteit van de desbetreffende weg waardoor de frequentie en grootte van de vrije doorstroming toeneemt. Dit resulteert in twee positieve effecten:

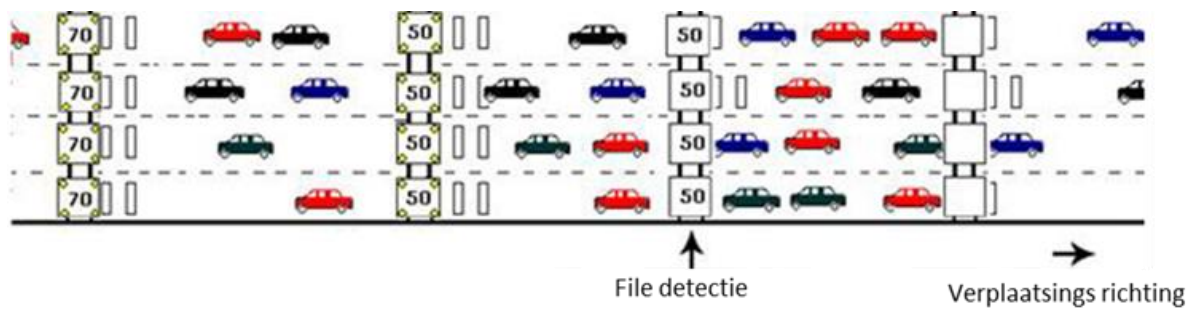
1. Er ontstaan minder files wanneer er meer verkeersaanbod is.
2. Het aantal auto-ongelukken in Nederland op een rijbaan met vrije doorstroming verschilt significant van het aantal ongelukken op een rijbaan zonder vrije doorstroming (Smulders et al, 1988).

Een uitbreiding van het wegennetwerk is echter niet altijd een optie vanwege ruimtebeperkingen, milieurestricties, hoge kosten en andere beleidsvoorschriften. Wanneer fysieke uitbreiding van het wegennetwerk niet mogelijk is, kunnen andere opties overwogen worden, zoals de invoering van dynamisch verkeersmanagement (DVM) (Hegyi et al. ,2005). DVM dient ervoor om de stroom van automobilisten te reguleren.

1.2 Dynamisch verkeersmanagement

Bij DVM is het geleiden en controleren van de automobilist van belang (Rijkswaterstaat, 2006b). Het gebruik van matrixborden of matrixsignaalgevers is daarbij één van de mogelijkheden om de benutting van de weg te verbeteren. De automobilist heeft veel vrijheid in het maken van zijn keuzes en streeft naar een zo kort mogelijke reistijd (Westerman et al., 2010). Het rijgedrag van automobilisten vertoont daarbij grote variatie. Een grote diversiteit aan rijkenmerken kan leiden tot een minder hoge benutting van de weg, wat sneller kan leiden tot files (van Nes, 2011). Het reguleren van de verkeersstroom kan van invloed zijn op de doorstroming en daarmee de omvang van de file. Het dynamisch verkeersmanagement richt zich op de regulering, zoals weergegeven in figuur 1.

Figuur 1. DVM als verkeersmanagementfunctie



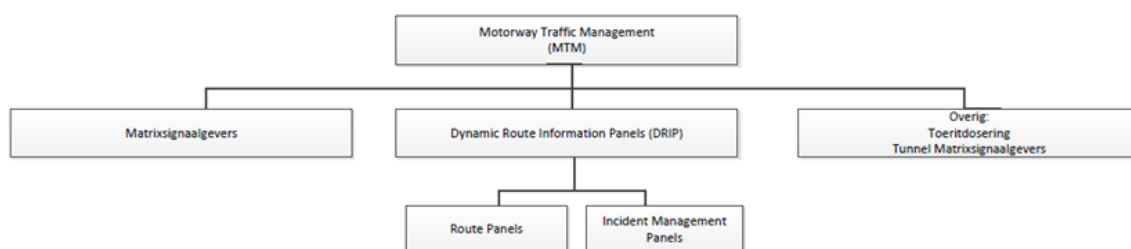
(Bron: van Nes, (2011))

DVM is een proactieve wijze van verkeersmanagement. De automobilist wordt, hopelijk op effectieve wijze, geïnformeerd bij elke vorm van verkeershinder (Rijkswaterstaat-AVV, 2007). Zoals gezegd is het doel vooral het beter benutten van de wegcapaciteit. Binnen de verkeerskunde heeft DVM de volgende definitie:

“DVM betreft tijdsafhankelijke sturing en regeling van het verkeer met inzet van allerlei instrumenten en maatregelen, gericht op een betere benutting van de beschikbare infrastructurele capaciteit (weg en rail). Daarnaast beoogt DVM de nadelige effecten van het verkeer (onveiligheid, milieubelasting, congestievorming) te verminderen. ‘Dynamisch’ wil in dit verband zeggen dat de te nemen maatregelen afgestemd zijn op de actuele of te verwachten verkeersbelastingen op het wegennet.” (van Nes, 2011)

De wegbeheerder, waaronder Rijkswaterstaat, heeft een belangrijke taak om het verkeer te informeren, adviseren en te reguleren (Rijkswaterstaat, 2000). Dit geschiedt via Motorway Traffic Management (MTM), waarbij Rijkswaterstaat o.a. met behulp van matrixborden, maar ook via andere deelsystemen, informatie levert aan de automobilist, zoals weergegeven in figuur 2.

Figuur 2. Functionele hiërarchie van Motorway Traffic Management (MTM)



(Bron: Rijkswaterstaat, (2000))

Deze studie richt zich op de matrixborden (ook wel matrixsignaalgevers genoemd). Deze worden als volgt gedefinieerd:

“De matrixsignaalgever is een fysiek object met als primaire functie de weggebruiker op ergonomisch verantwoorde wijze te informeren, waarschuwen, adviseren of gebieden met behulp van, qua afmetingen en vormgeving, uniforme en eenduidig oplichtende beelden. Een belangrijke taak van de matrixsignaalgever is weggelegd voor het presentatiesysteem. Dit systeem bestaat uit een beeldvlak met de daarbij behorende elektrische componenten die het

presentatiesysteem in staat stelt beelden te tonen. Het fysieke object biedt plaats aan het presentatiesysteem en dient voornamelijk ter bescherming ervan. De matrixsignaalgever is gepositioneerd boven of naast de weg volgens een bij Rijkswaterstaat gestandaardiseerde bevestigingsmethode.” (Rijkswaterstaat, 2006b)

Matrixborden zijn ingevoerd met als doel de capaciteit en de veiligheid op de weg (positief) te beïnvloeden (Kotsialos et al., 2004). Het verkeerskundige object, het matrixbord, heeft een aantal functies met als doel de prestaties op de weg te verbeteren. De verkeerskundige functies die matrixborden dienen uit te voeren zijn (Rijkswaterstaat, 2006b):

4. Automatische Incident Detectie (AID);
5. Homogeniseren;
6. Tonen van rijstrookmaatregelen en snelheidsmaatregelen vanwege weer- of milieu omstandigheden; en,
7. Tonen van rijstrookmaatregelen in opdracht van een extern systeem (verkeersongevallen of werk in uitvoering).

Automatische Incident Detectie (AID) houdt in dat het matrixbord een maximumsnelheid weergeeft vanaf het moment dat een gemiddelde snelheid per rijbaan is bereikt (Rijkswaterstaat, 2000). *Homogeniseren* is een statische weergave van beeldstanden “70”; “80” of “90”. Die functie treedt in werking wanneer rijstroken een hoge intensiteit hebben of wordt geactiveerd vanuit een milieuperspectief. Kruis-pijl geeft weer de combinatie van een kruis en afdrijfpijl voor een bepaalde rijbaan. Deze wordt bij werkzaamheden, ongelukken en pech toegepast (Rijkswaterstaat, 2000). De werking van de vier functionaliteiten wordt in bijlage 2 nader toegelicht.

1.3 Probleemanalyse

Bezuinigingen op infrastructuur

Tussen 2015 en 2025 bezuinigt de overheid op infrastructuur (Rijkswaterstaat, 2013a). In het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT) is aangegeven dat het budget voor aanleg en onderhoud van infrastructuur met 8% wordt verlaagd (MIRT, 2013). Tegen deze achtergrond van beperkte budgetten voor de uitbreiding van infrastructuur, zouden de mogelijkheden van MTM, en in het bijzonder van de matrixborden, verder benut kunnen worden. Tevens kan dit beduiden op alternatieven, waarbij door een soberder infrastructuurbeleid matrixborden minder of niet meer geplaatst worden. Daarbij zou de verkeersveiligheid niet in het gedrang mogen komen (Rijkswaterstaat, 2006b).

Herbezinning op rol van verkeerssystemen en collectieve functie

“Het belang van het individu valt niet altijd samen met dat van het collectief.” (van Lint, 2007)

Uit gesprekken (zie bijlage 1) met verschillende experts van Rijkswaterstaat en Infrastructuur en Milieu op het gebied van verkeerssignalering, is gebleken dat er belangstelling is voor herbezinning op de rol van matrixborden – in termen van effecten en kosten-baten. Hedendaagse ontwikkelingen op het gebied van nieuwe technologieën en de opkomst van private partijen op het gebied van verkeersinformatiediensten dragen bij aan een

verandering van de taakopvatting van de wegbeheerder (Rijkswaterstaat, 2007). Dit blijkt ook uit een in de beleidsplannen 2020-2025 van RWS gesignaleerde trend, namelijk de privatisering van monitoring door de opkomst van zogenaamde '*floating car data*' (Pei et al., 2012); (Rijkswaterstaat, 2013a). Door deze trends zijn weggebruikers steeds meer in staat om hun individuele doestellingen te realiseren. Hierdoor ontstaat er een verschil in belangen tussen publieke-en private partijen maar ook tussen de individuele automobilist en de maatschappij. Navigatiesystemen geven regelmatig een ander advies dan de borden boven de weg. Hierdoor is de kosteneffectiviteit van het verkeersmanagement door de wegbeheerder moeilijk te waarborgen (Westerman et al., 2010).

Onduidelijkheid ten aanzien van effecten van matrixborden

Voor Rijkswaterstaat zal verkeersmanagement een andere rol gaan spelen bij het informeren van de automobilist in de toekomst (Rijkswaterstaat, 2007). In dat licht is het interessant te weten wat de huidige effecten zijn van de verkeerssignalering op de verkeersstroom. Het effect van matrixborden op de verandering in veiligheid en file van de verkeersstroom is diverse malen gemeten, maar er is geen recente volledige effectstudie (zie bijlage 6). Om te bepalen op welke wegen matrixborden een bijdrage leveren aan de doorstroming is het belangrijk te begrijpen in welke mate de kans op ongevallen varieert onder verschillende verkeersomstandigheden en omgevingscondities, en welke factoren mede invloed hebben op de kans op ongevallen (Papageorgiou et al., 2008). In 1983 is men begonnen met het in kaart brengen van het effect van vrije doorstroming op de verkeersveiligheid. Kroes, Donk en de Klein (Kroes et al., 1983) tonen aan dat het aantal auto-ongelukken op een rijbaan met vrije doorstroming significant verschilt met het aantal ongelukken op een rijbaan zonder vrije doorstroming. In hoofdstuk 2 worden deze resultaten vergeleken met andere resultaten uit verschillende evaluatiestudies, waarbij ook naar de effecten op doorstroming is gekeken. Daaruit blijkt dat de effecten van verkeerssignalering in de verschillende studies niet met elkaar overeenkomen. Dat is te verklaren door de volgende tekortkomingen:

- Verkeerskundige termen als capaciteit en doorstroming worden niet consequent gebruikt en gemeten (in gevonden effectstudies);
- Data zijn over een (te) korte tijdsperiode of op een te hoog abstractieniveau bekeken; en,
- Verkeersvraag- en aanbod voor diverse rijkswegen zijn lastig te vergelijken, door de invloed van verschillende stochastische effecten en weersinvloeden. Stochastische effecten zijn onderworpen aan de samenstelling van het wegverkeer per weg, wettelijke toegestane maximum snelheid en veranderingen in wegconfiguratie.

Weinig zicht op maatschappelijke kosten en baten

Er zijn al aanzienlijke investeringen gedaan in matrixborden (Rijkswaterstaat, 2006a), maar daarbij zijn de baten en kosten nog nauwelijks tegen elkaar afgewogen. In het licht van mogelijke toekomstige investeringen is het van belang om die investeringsbesluiten goed te onderbouwen op basis van een helder inzicht in de (potentiële) kosten en baten.

Kortom, in het licht van bezuinigingen op infrastructuur lijken investeringen in matrixborden een goede optie om de benutting van wegen te verbeteren, terwijl er ook een vraag is naar de herbezinning van de rol van matrixborden door de onvermijdelijke trend van individualisering en de toenemende technologische ontwikkelingen. Deze toenemende belangstelling lijkt uit te gaan van bewezen effectiviteit van dynamisch verkeersmanagement

en in het bijzonder van matrixborden. Echter effectstudies, waarbij zowel gekeken is naar de doorstroming als naar het aantal ongevallen, leveren geen eenduidige resultaten op. Ook zijn de (kosten en) baten van de verkeerssignalering via matrixborden nog niet duidelijk in kaart gebracht. Deze overwegingen vormen de aanleiding van dit onderzoek.

1.4 Onderzoeksvraag

De bovenstaande probleemanalyse leidt tot de volgende hoofdonderzoeksvraag, die bestaat uit drie delen:

- 1. Wat zijn (onzekerheden omtrent) effecten van matrixborden voor verschillende beleidsuitvoeringen?*
- 2. Wat zijn de maatschappelijke baten van matrixborden met betrekking tot de netwerkprestaties van rijkswegen in Nederland?*
- 3. Hoe verhouden de baten van dit beleid zich tot de kosten voor deze systemen?*

Om deze samengestelde hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden dient er een goed overzicht te zijn van de effecten, kosten en baten die matrixborden hebben op de verkeersstroom, zoals aangegeven in de literatuur. Onderstaande deelvragen zullen hieraan bijdragen:

- Wat zijn de functionaliteiten van matrixborden?
- Wat zijn de effecten van matrixborden op de verkeersstroom zoals die zijn beschreven in literatuurstudies?
- Wat zijn de belangrijkste prestatie-indicatoren die beïnvloed worden door matrixborden zoals aangegeven in de literatuur?
- Wat zijn de inschattingen van experts m.b.t. effecten van verschillende verkeerskundige maatregelen en wat is de spreiding van deze effecten?
- Waaruit bestaat de huidige component van matrixborden als onderdeel van het MTM-systeem en wat zijn de bijbehorende kosten van deze component?
- Waaruit bestaat de wisselwerking tussen kosten en baten van matrixsignaalgeversfuncties bij gedifferentieerde afstanden en wegcategorisering?

1.5 Doelstelling en relevantie

Doelstelling

Tot op heden worden de afwegingen tussen investeringen in matrixborden voor wat betreft onderhoud, vernieuwing en/of uitbreiding vaak gebaseerd op de meningen van experts en ervaringen met voorgaande projecten. Een kwantitatieve benadering waarbij de maatschappelijke kosten en baten van verkeerssignalering in kaart zijn gebracht die als basis dienen voor de besluitvorming ontbreekt veelal. De maatschappelijke baten kunnen worden gemeten aan de hand van een gedifferentieerd beleid naar plaatsingsafstand en

verschillende functies van matrixborden. Daarnaast kunnen tevens de kosten in kaart worden gebracht. De doelstelling van het onderzoek luidt:

Ontwikkeling van een ondersteunend beslismodel (zijnde een prototype) dat inzicht biedt in de baten en kosten van matrixborden, dat door wegbeheerders, zoals Rijkswaterstaat, toegepast kan worden bij investeringsbeslissingen op diverse hoofdwegen voor DVM.

Het te ontwikkelen ondersteunend beslismodel zou kunnen worden toegepast op diverse wegen in Nederland om inzicht te bieden in de effecten van matrixborden voor verschillende interventies (gedifferentieerd naar functie en tussengelegen afstand) op verkeersdoorstroming en veiligheid. Het model heeft tot doel het inzichtelijk maken van effecten van matrixborden en de onzekerheden van die effecten. De kosten en baten zullen tegen elkaar worden afgezet om inzicht te krijgen in de kosteneffectiviteit van matrixborden. Dit inzicht is van nut voor besluitvormers die investeringsbesluiten nemen voor de plaatsing van matrixsignaalgeverssystemen. Tevens beoogt het onderzoek een bijdrage te leveren aan de ondersteuning en optimalisatie van het gebruik van het systeem van matrixborden.

Wetenschappelijke relevantie

Zoals gezegd zijn er verschillende studies gedaan naar de effecten van verkeerssignalering, waaronder simulatiestudies (Zackor, (1971); Cremer, (1979); Hegyi et al., (2005), Carlson, et al., (2010); Kononov et al., (2012)) van proeftrajecten, waarbij niet alleen naar de effecten, maar ook wel naar kosten is gekeken (Cellissen, (2010); TNO, (2009); Arcadis, (2004); DHV, (2006)) (bijlage 6). Echter de resultaten van deze studies zijn niet eenduidig en moeilijk onderling vergelijkbaar door het verschil in uitgangspunten en gebruikte methoden. Het is daarom van belang om de verschillende uitgangspunten en assumpties die ten grondslag liggen aan de diverse studies inzichtelijk te maken. De wetenschappelijke bijdrage van dit onderzoek is het integreren en het analyseren van de verschillende effecten – (verkregen uit een expert panel) van matrixborden in één model, waardoor een bijdrage wordt geleverd aan het versterken van het methodologisch kader voor dit soort onderzoek. Het statistisch uiteenzetten van effecten van matrixborden door middel van een onzekerheidsanalyse draagt ook bij aan de wetenschappelijke relevantie. Ten slotte worden wetenschappelijke theorieën m.b.t matrixborden uit studies van Zackor (1971); Hegyi et al., (2003), Hegyi et al (2005); en Papageorgiou (2008) en (2010) gerelateerd aan bevindingen uit dit onderzoek.

Praktische relevantie

Voor de wegbeheerder is het van belang om een goed inzicht te hebben in kosten en baten van MTM systemen (Westerman et al., 2010). Daarmee wordt het eenvoudiger om rationele beslissingen te nemen over investeringen in deze systemen. Een onderdeel van dit onderzoek bestaat uit de ontwikkeling van een 'ondersteunend beslismodel' dat investeringsbesluiten in verkeerssignalering kan ondersteunen. Met behulp van het model kunnen kosten en baten berekend worden van verschillende scenario's voor investeringen (afstand tussen matrixborden; investeringen op verschillende typen wegen; etc. Wegbeheerders hebben behoefte aan dit soort informatie.

Naast de wegbeheerder zijn ook andere partijen, zoals bijvoorbeeld de 'politiek', betrokken bij aanschaf en gebruik van matrixsignaalgeverssystemen (Westerman et al., 2010). Ook die zijn gediend bij meer inzicht in o.a. kosten en baten. Uit politieke overwegingen zullen

bijvoorbeeld veiligheidseisen gesteld worden aan de plaatsing, het gebruik en de uitvoering van de matrixsignaalgeversystemen (I&M, 2013) . Dit onderzoek kan ook bijdragen aan de inzichten op dit terrein.

Verder kunnen de inzichten verkregen vanuit dit onderzoek nuttig zijn bij de verdere ontwikkeling van DVM door de invoering van nieuwe technologieën. Bijvoorbeeld, in-car systemen zullen de matrixsignaalgevers wellicht meer en meer zullen gaan aanvullen en/of zelfs gaan vervangen. Voor de wegbeheerder is een betere onderbouwing van de besluitvorming ten aanzien van investeringen in MTM-systemen zoals matrixborden zinvol op basis van een beter inzicht in de daadwerkelijke kosten en baten hiervan, hetgeen de efficiëntie van het wegbeheer ten goede kan komen.

1.6 Multidisciplinaire invalshoek

Bij een investering in infrastructurele projecten zijn meerdere partijen betrokken met diverse belangen. Hierbij is te denken aan de contractbeheerder Rijkswaterstaat, de concessiehouder, investeerders, (Europese) banken, de aannemer, onderhoudsgroepen en andere subcontractors. De actoranalyse richt zich op betrokken partijen die invloed kunnen hebben op toekomstige ontwikkelingen van de matrixsignaalgeverssystemen.

Belanghebbenden die hiervoor in aanmerking komen zijn:

- Infrastructuur en Milieu:
 - Rijkswaterstaat;
 - Verkeerscentrum Nederland (VCNL);
- Onderzoeksinstituten en ingenieursbureaus;
- Wegbeheerders;
- Marktpartijen; private partijen die zich richten op de ontwikkelingen van hard- en software;
- (Belangenbehartigers) automobilisten;

Deze belanghebbende partijen hebben soms overeenkomstige en soms contrasterende belangen (Westerman et al., 2010). Naar verwachting van de “Technology push” die uitgaat van het Europese beleid en de innovatieve ontwikkelingen op het gebied van verkeersinformatiediensten zal de functie van het matrixbord mogelijk veranderen (Rijkswaterstaat, 2013b). Dit beïnvloedt de belangen en positionering van de verschillende partijen. De overheid heeft belang bij het bevorderen van de leefbaarheid, doorstromingen en de veiligheid op Rijkswegen (I&M, 2013). Private hard- en software partijen willen vooral hun bron-datagegevens zo goed mogelijk vermarkten aan private partijen en de overheid mits daarvoor betaald wordt (van Lint, 2013). Onderzoeksinstituten willen graag onderzoeken uitvoeren naar verkeerssystemen en maatregelen zoals matrixborden. Zij verschillen echter van mening over de effectiviteit van matrixborden op het rijgedrag van de automobilist (zie bijlage 3 en 6). Automobilisten streven naar een korte reistijd. Private partijen op het gebied van verkeersinformatiediensten voldoen aan het belang van de individuele automobilist. Maatschappelijke belangen voor doorstroming, milieu en veiligheid worden niet meegenomen terwijl de overheid hier juist wel degelijk opstuurt (Rijkswaterstaat, 2013a).

In bijlage 3 zijn de verschillende actoren en hun belangen nader gepresenteerd

Dit overzicht van de belangen van verschillende actoren bron-datagegevens geeft aan dat een multidisciplinaire invalshoek bij het uitvoeren van het onderzoek van belang is en dit komt naar voren in de keuze van onderzoeksmethoden.

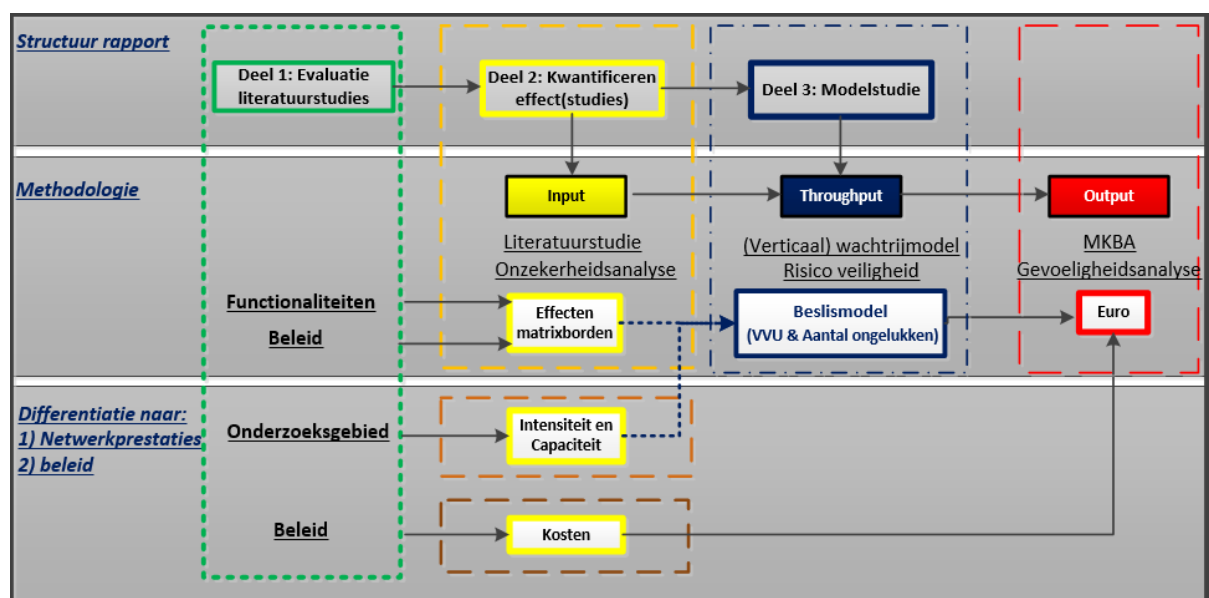
1.7 Onderzoeksmethoden en afbakening

1.7.1. Aanpak onderzoek

In Figuur 3 is een overzicht gegeven van de opbouw en samenhang van de analyses binnen dit onderzoek dat bestaat uit drie grote onderdelen, namelijk:

1. Een literatuuronderzoek naar effecten van matrixborden. Dit betreft zowel de achterliggende verkeersstroomtheorie als de concrete studies naar effecten van matrixborden.
2. Het construeren van 'input' data bestaande uit (i) gekwantificeerde effecten van matrixborden, (ii) intensiteiten en capaciteiten van het desbetreffende onderzoeksgebied en (iii) kosten van matrixborden. Daarbij is gebruik gemaakt van een onzekerheidsanalyse via Expert Elicitation, omdat de literatuur geen eenduidige inputwaarden opleverde.
3. Nadat de inputwaarden voor het model zijn vastgesteld, is het ondersteunend beslismodel verder vorm gegeven en zijn de resultaten berekend. Een robuustheidsanalyse is onderdeel van de modelstudie om de robuustheid van de gevonden resultaten aan te geven.

Figuur 3. Schematische opbouw onderzoek



1.7.2. Onderzoeksmethoden

Het begrippenkader voor dit onderzoek is weergegeven in bijlage 4. In dit onderzoek zijn de volgende onderzoeksmethoden toegepast:

Literatuurstudie

Allereerst is het theoretisch kader onderzocht. Dit is het onderwerp van hoofdstuk 2, met een uitwerking van verschillende theoretische deelonderwerpen in bijlage 5. Daarbij komt de verkeersstroomtheorie aan de orde alsmede de bottlenecks en kwetsbare weggedeeltes. Dit vormt de basis voor een analyse van diverse van effectstudies naar matrixborden dat het hoofdonderwerp is van hoofdstuk 3 met verdere details in bijlage 6. De verschillende studies naar effecten van matrixborden worden onderling met elkaar vergeleken op basis van uitgangspunten en methoden enerzijds en aard en omvang van de gemeten effecten anderzijds. Er zal ook aandacht worden besteed aan de invloed van verkeerskundige parameters op de effecten van matrixborden. Deze parameters die zijn gerangschikt in volgorde van belangrijkheid, vormen de basis van de prestatie-indicatoren die gemeten zullen worden.

Onzekerheidsanalyse: Expert Elicitation

Omdat de literatuurstudie geen eenduidige waarden opleverden voor belangrijke variabelen om de effectiviteit van matrixborden vast te stellen, werd een onzekerheidsanalyse uitgevoerd door middel van een zogenaamde '*Expert Elicitation*' methode (zie bijlage 8). Hierbij werden verkeersexperts ondervraagd over hun inschatting van effecten van matrixborden. Om de kwaliteit van het onderzoek te borgen werden deze experts geselecteerd op basis van hun kennis en vertegenwoordiging van verschillende belanghebbenden (zie bijlage 1 voor overzicht van experts). In totaal zijn 10 verkeersexperts geïnterviewd, waarvan 8 experts tevens een enquête invulden. Uiteindelijk leidde deze Expert Elicitation tot eenduidige waarden voor belangrijke variabelen zoals capaciteitsveranderingen, verkeersongevallen en (opvolg)gedrag van de adviessnelheden van de automobilist, waarover in de literatuur geen overeenstemming is. Deze resultaten zijn weer gebruikt in het ondersteunend beslismodel om de effecten van matrixborden verder in kaart te brengen.

Ondersteunend beslismodel – bestaande uit een verticaal wachtrijmodel en uitbreiding

Het ondersteunend beslismodel (ontwikkeld in Excel door de onderzoeker) dient, zoals gezegd, ter ondersteuning voor het maken van beslissingen omtrent (aanleg)investeringen in matrixsignaalgevers. Het model -opgebouwd uit wachtrijmodellen waarin vertragingen van file en ongelukken worden doorgerekend- is een gemakkelijk aan te passen model, waarin wegkenmerken, verkeersdata en effecten van matrixborden de input zijn van het ondersteunend beslismodel. De theorie omtrent (verticale) wachtrijmodellen wordt toegelicht in hoofdstuk 2. Effecten van het gebruik van matrixsignaalgevers worden gemeten aan de hand van 'prestatie-indicatoren'. Een verschil in capaciteit van wegen en intensiteit van gebruik kan leiden tot een verschil in de bijdrage van matrixborden. Hierdoor wordt uit het model duidelijk welke effecten van de matrixsignaalgever essentieel zijn en wat de bijdrage is van matrixborden over verschillende uitvoeringsafstanden. Het model is verder uitgewerkt in hoofdstuk 5 en bijlage 8.

Maatschappelijke Kosten en Baten Analyse (MKBA)

Het onderzoek bevat ook een korte analyse van kosten en baten (in monetaire termen) van het gebruik van matrixborden. Bij de analyse van de (jaarlijkse) kosten worden de volgende kosten betrokken:

- Investeringskosten (en afschrijvingsduur in jaren, om een inschatting te maken van jaarlijkse kosten)
- Exploitatiekosten, zoals ingeschat vast- en variabel onderhoud en overige kosten.

De monetaire ‘baten’ worden bepaald door de effecten van het gebruik van matrixborden (zie hierboven: prestatie-indicatoren) in geldwaarden om te zetten volgens daarvoor gangbare methoden. Zo worden veiligheidseffecten (ongevallen en verkeersdoden) en tijdsverlies door filevorming (file en vertragingen) in geld omgezet, zie bijlage 8. De uitkomsten van de MKBA worden in hoofdstuk 5 gepresenteerd.

Gevoeligheidsanalyse

Door een gevoeligheidsanalyse uit te voeren wordt nagegaan hoe robuust de antwoorden zijn die volgen uit de MKBA en wordt eveneens inzicht verkregen in de mate waarin veranderingen in inputvariabelen leiden tot andere uitkomsten. Door middel van een Monte Carlo simulatie is geanalyseerd welke inputwaarden het meest gevoelig zijn voor de uitkomsten van de MKBA en wordt de spreiding weergegeven. De keuze voor de Monte Carlo simulatie is gebaseerd op de nadruk die daarin wordt gelegd op de transparantie en betrouwbaarheid van de resultaten. Op een systematische wijze worden namelijk de verschillende onzekerheden over de inputwaarden geanalyseerd.

1.7.3. Afbakening onderzoeksgebied

Het onderzoek richt zich op Nederland. Uiteraard is wel de internationale literatuur met betrekking tot het onderzoeksonderwerp meegenomen. Vervolgens richt het onderzoek zich op matrixborden en wel op de drie hierboven beschreven functionaliteiten: AID; Homogeniseren; en kruis-pijl. Daarbij zijn eerdere effectstudies van de toepassing van matrixborden in Nederland bestudeerd. De resultaten zijn gemeten van de volgende weggedeeltes: A7, A10, A12.

HOOFDSTUK 2 THEORETISCH KADER

Dit hoofdstuk geeft het theoretisch kader weer van het onderzoeksgebied, en bevat tevens de basis voor de meting van de effecten van de matrixborden. In 2.1. is de verkeersstroomtheorie beschreven. Hierbij komt met name de relatie tussen de intensiteit, dichtheid en snelheid van de verkeersstroom aan de orde. Vervolgens wordt in 2.2. uitgelegd wat 'bottlenecks' zijn en hoe deze files veroorzaken. Daarbij wordt ook het begrip capaciteit beschouwd. Tevens wordt uitleg gegeven welke verkeerstheorie wordt toegepast in het model voor de berekening van vertraging. Dan zal in 2.3. de manier om kwetsbare weggedeeltes in kaart te brengen worden toegelicht evenals filelocaties. Sectie 2.4. beschrijft files die ontstaan door ongevallen. Tot slot volgt een tussentijdse conclusie hoe dit theoretisch kader bijdraagt aan het ondersteunend beslismodel.

2.1 Verkeersstroomtheorie

In dit onderzoek worden in navolging van de analyse van verkeersafwikkeling in de verkeerskunde twee traditionele detailniveaus onderscheiden namelijk; het microscopische en macroscopische niveau (Hoogendoorn, 2010). De samenhang tussen de relaties en de grootheden van het microscopische en macroscopisch niveau is in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2. Grootheden op microscopisch- en macroscopisch niveau

Microscopische variabelen	Afkorting	Macroscopische variabelen	Afkorting
Volgtijd _(s)	h_t	Intensiteit _(mtv/uur)	q
Volgafstand _(m)	h_x	Dichtheid _(mtv/km)	K
Snelheid _(km/uur)	v	Gemiddelde snelheid _(km/uur)	U
Lengte voertuig _(m)	l		

(Bron: Hoogendoorn, (2010))

Een microscopisch verkeersmodel beschrijft het gedrag per automobilist. Automobilisten worden hierin gezien als individuele objecten die deel uitmaken van een groter geheel, namelijk de verkeersstroom. Het macroscopisch verkeersmodel beschrijft juist de verkeersstroom als geheel.

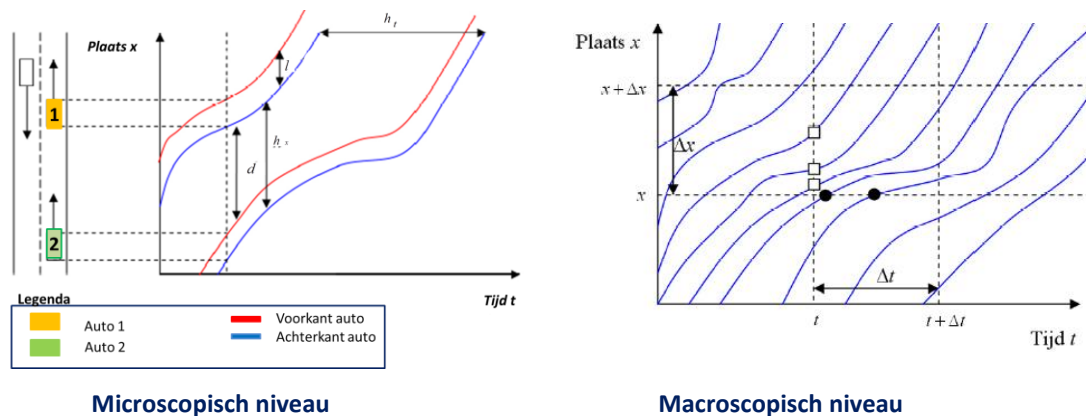
Deze modellen zijn van belang voor de meting van effecten van matrixborden op de doorstroming, zoals in hoofdstuk 3 aan de orde zal komen.

Relatie tussen microscopische- en macroscopisch variabelen

Figuur 4 illustreert het verschil tussen beide niveaus. De linkerfiguur (microscopisch niveau) laat de verplaatsing van individuele automobilisten zien over de tijd. Daarbij zijn de volgafstand (h_x); de volgtijd (h_t); afstand tussen de auto's (d) en individuele snelheden van voertuigen weergegeven. De volgafstand (d) beschrijft de afstand tussen de voorkant van de achterliggende auto ten opzichte van de achterkant van zijn voorganger. De volgtijd (h_t), de afstand tussen twee blauwe lijnen beschrijft de tijd die nodig is vanaf het moment dat de eerste auto gemeten wordt tot het moment waarop de achterliggende auto datzelfde punt passeert.

De rechterfiguur 4 (macroscopisch niveau) geeft het geheel aan microvariabelen over een bredere tijdhorizon en locatie weer. De blauwe lijnen, trajectoriën van auto's, geven hier de positie van de auto's over de tijd weer. De horizontale afstand tussen de lijnen beschrijft het aantal voertuigen dat een vast punt passeert over een bepaalde tijdsperiode (*intensiteit: aantal voertuigen per tijdseenheid*). De verticale afstand tussen de blauwe lijnen bepaald het aantal auto's dat zich op een bepaald moment over een bepaalde ruimte bevinden (*dichtheid: aantal voertuigen per lengte-eenheid*). De snelheid van een voertuig is gelijk aan de richtingscoëfficiënt $v_{\text{auto}} = dx_i / dt$. Het is van belang te weten dat sterk stijgende secties $X_i(t)$ uit de trajectoriën een toename in snelheid betekenen. Andersom geldt ook dat een horizontale sectie van $X_i(t)$ in de trajectorie duidt op een automobilist die gestopt is met rijden. Egale lijnen met een gelijke richtingscoëfficiënt in de trajectoriën duiden op een constante snelheid (geen acceleratie) en trajectoriën met 'hoeken' duidt op decelleratie of acceleratie momenten.

Figuur 4. Microscopisch en macroscopisch niveau voor analyse verkeersstromen



(Bron: Hoogendoorn, (2010))

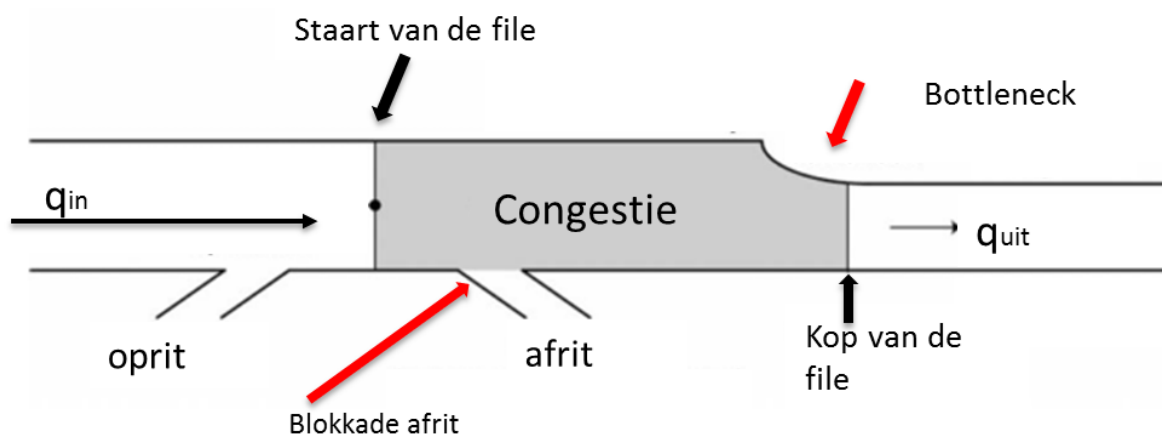
Binnen dit onderzoek wordt de verkeersafwikkeling op macroscopisch niveau geanalyseerd waarbij aanpassingen (invloeden op gedrag) vanuit microscopisch niveau geëxtrapoleerd worden naar het macroscopisch niveau. De capaciteit zorgt voor een nieuwe maximale intensiteit en is erg afhankelijk van het gedrag van de automobilist, maar ook van de wijze waarop de automobilist wordt gewaarschuwd en geïnformeerd (Hegyi et al., 2005). Bij het in- of uitrijden van een file treden er verschillen tussen automobilisten op wat betreft remsnelheid en versnelling en reactiesnelheden. Daardoor ontstaan er grote variaties tussen de volgafstanden (h) die automobilisten aanhouden (Knoop, 2012). Deze worden veroorzaakt doordat automobilisten hun veiligheidstijden ten opzichte van hun voorganger aanpassen. Deze aanpassing van veiligheidstijden binnen het volgggedrag van automobilisten geeft een indicatie van de capaciteitsafname wanneer de verkeersstroom instabiel wordt (Treiber et al., 2008). De uitrij-intensiteit bij een instabiele verkeersstroom of sterk variërende verkeersstroom wordt dus bepaald door de gemiddelde volgafstand die automobilisten hanteren. Belangrijk hierbij is de invloed van gedrag en de verandering in de macroscopische variabelen snelheid en intensiteit bij veranderingen in de microscopische variabele volgggedrag. De effectiviteit van matrixborden wordt mede bepaald door de verandering in het gedrag van automobilisten die de signalen op de borden waarnemen. Deze relatie tussen de macroscopische grootheid intensiteit en de microscopische variabele gedrag wordt in paragraaf 3.1 beschreven.

De relaties tussen de macroscopische variabelen zijn sterk afhankelijk van de wegconfiguratie, de verkeerssamenstelling, anticipatie van automobilisten en weersomstandigheden.

2.2 Bottlenecks

Een bottleneck is een verkeerskundig beperking van de capaciteit. Waarbij de intensiteit (*aantal gepasseerde voertuigen per tijdseenheid*) van de inkomende stroom groter is dan de intensiteit die de bottleneck kan passeren (Carlson et al., 2010). Bottlenecks kunnen verschillende oorzaken hebben, zoals ongelukken, wegwerkzaamheden of pech. Een bottleneck is ook wel gedefinieerd als een wegdeel waarop de capaciteit lager is dan de capaciteit stroomopwaarts van de bottleneck (van Nes et al., 2011). Zolang de inkomende intensiteit lager blijft dan de maximale intensiteit van de bottleneck ontstaat er geen file, maar zal in de praktijk door een toenemende dichtheid de snelheid afnemen. Dit resulteert in een vertraagde afwikkeling. Figuur 5 geeft de bottleneck locatie weer. De vertraging in reistijd die ondervonden wordt door een toenemende dichtheid op het wegdeel wordt in hoofdstuk 3 en 5 beschreven.

Figuur 5. Congestievorming door bottleneck



(Bron: Carlson et al., (2010))

Wanneer de vraag (intensiteit) hoger wordt dan het verkeersaanbod (capaciteit) ontstaat file stroomopwaarts (grijze gedeelte) van de bottleneck (figuur 5). Een bottleneck heeft effect op de capaciteit en de doorstroming van de weg. De gevolgen van deze effecten zijn een vertraging in de verkeersafwikkeling, filevorming en het blokkeren van andere op- en afritten door wachtrijvorming (Carlson et al., 2010). De drie effecten leiden tot een vermindering van de bereikbaarheid en degradatie van de kwaliteit van de infrastructuur (Rijkswaterstaat, 2012).

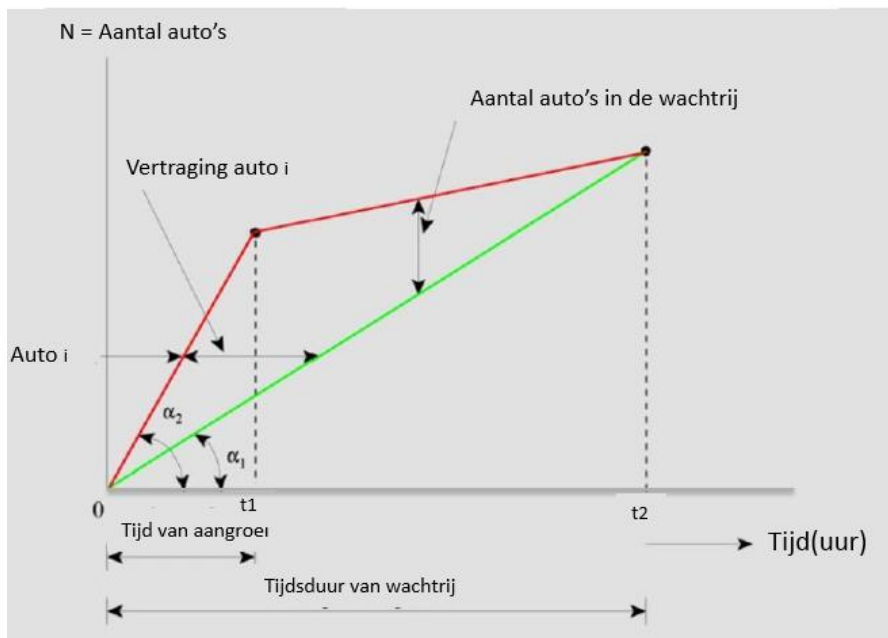
Filevorming en vertraagde afwikkeling

Figuur 6 geeft weer hoe een file toe- en afneemt. Het verschil tussen de groene en de rode lijn (verticaal) geeft de vorming van file weer. De bovenste lijn (rood) representeert de inkomende stroom (intensiteit), de onderste lijn (groen) representeert de uitgaande stroom (capaciteit). Dit figuur is schematisch op te delen in vier fases namelijk: (1) de intensiteit (rood) is lager dan de capaciteit (groen) en er bevindt zich geen wachtrij. Dit is de fase die

niet op het plaatje staat, maar links onder had kunnen staan. (2) De fase wanneer de capaciteit de intensiteit overschrijdt. Er ontstaat file. (3) De fase waarin de maximale filelengte is bereikt (zie maximale afstand tussen de twee lijnen) en de richtingscoëfficiënt van de inkomende stroom afneemt. (4) Het moment waarbij de wachtrij volledig is opgelost en de inkomende stroom weer gelijk of onder de uitgaande stroom is.

Figuur 6 geeft weer hoe het aantal voertuigen stapelt volgens de verticale wachtrijtheorie, hetgeen niet geheel overeenkomt met de werkelijkheid. De horizontale afstand tussen de twee lijnen geeft de tijd weer hoe lang een voertuig in de file staat. De oppervlakte tussen de twee lijnen (rood en groen) geeft de totale vertraging weer. De oppervlakte wordt bepaald door de richtingscoëfficiënt van de stijgende (rode) lijn in fase 2. De totale vertraging neemt af door bijvoorbeeld ofwel de richtingscoëfficiënt (rode lijn) minder stijl te maken ofwel de tijd van filevorming van de inkomende stroom zo kort mogelijk te laten.

Figuur 6. Vorming van wachtrij



(Bron: Hoogendoorn, (2011))

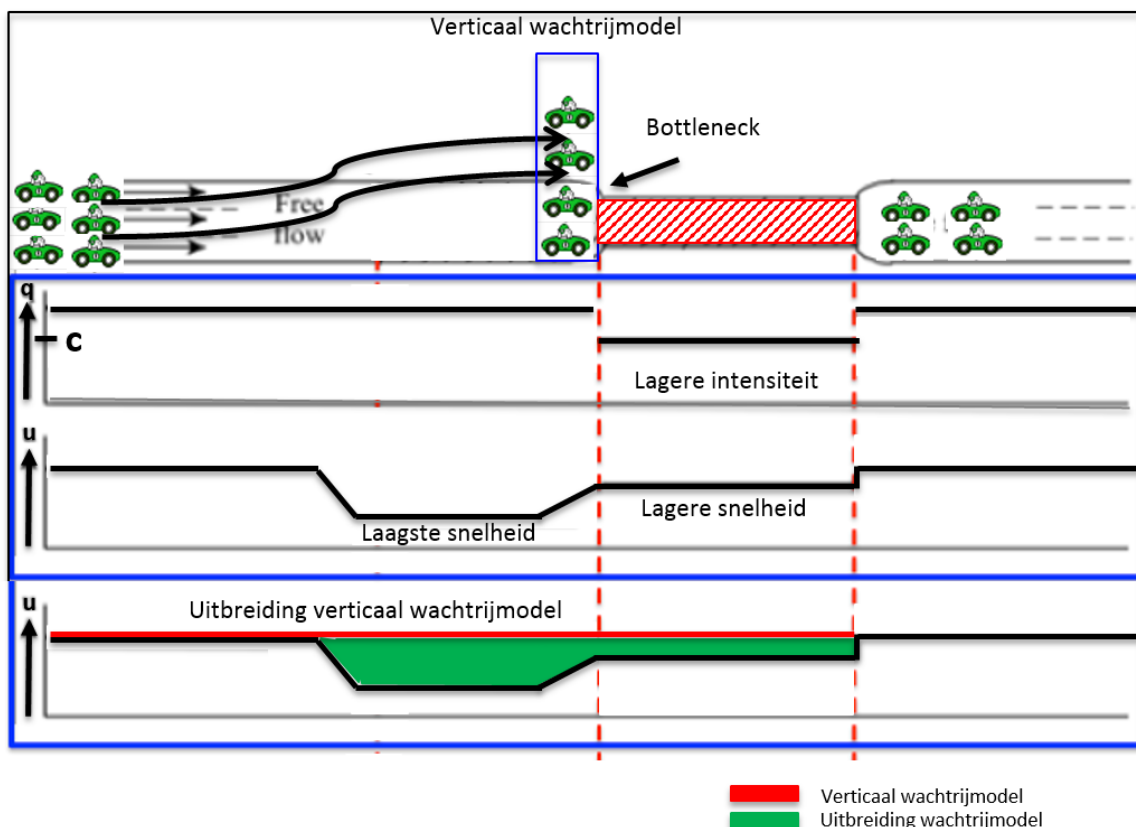
Verkeersmodellen: verticale wachtrijmodel

Verkeersmodellen worden gebruikt om veranderingen van het effect op de verkeersstroom te meten, waarbij veranderingen in de intensiteit en capaciteit over de tijd worden gemeten voor een bepaald weggedeelte. In bijlage 5 is een nadere uitleg van de toepassing en keuze tot verkeersmodellen opgenomen, waarbij voor dit onderzoek het verticale wachtrijmodel is gekozen.

De verticale wachtrijtheorie analyseert als functie van tijd de vertraging die ontstaat door een bottleneck, waarbij de bezetting in tijd en ruimte achter de file niet van belang is. Dit komt omdat er een file wordt gesimuleerd door de auto's in feite op elkaar te stapelen in plaats van achter elkaar te zetten. De relatie tussen intensiteit en capaciteit van de bottleneck bepaalt hoe snel de wachtrij toe- of afneemt. De verticale wachtrijtheorie gaat ervan uit dat voor elke verkeersstroom het aantal auto's gemeten kan worden langs een

bepaald punt in de tijd. Een verticaal wachtrijmodel wordt beschreven als een model waarbij de inkomende stroom ongelimiteerd is en de uitgaande stroom beperkt wordt door de gegeven capaciteit van het tracédeel (Knoop, 2012). Wanneer de inkomende stroom voertuigen groter is dan de toegelaten maximale stroom van de bottleneck, komen auto's in de wachtrij te staan. Kenmerkend voor het verticale wachtrijmodel is dat de auto's in de wachtrij geen ruimte in beslag nemen, de auto's staan "verticaal" in de wachtrij. Dit is in figuur 7 te zien, door de stapeling van de groene auto's. De rode lijn in de onderste grafiek geeft de snelheid weer zoals in het verticale wachtrijmodel wordt gesimuleerd. Deze lijn blijft tot aan het bereiken van de bottleneck gelijk aan de ontwerpsnelheid van de weg. In werkelijkheid echter nadert men de file met een snelheid lager dan 100 km/uur. Tevens is een andere beperking van het verticale wachtrijmodel de lokale beperking van de capaciteit. In werkelijkheid is de capaciteit een stochastische waarde die continu onderhevig is aan veranderingen. Het rode gearceerde gebied geeft aan over welk gebied de capaciteit beperkt is.

Figuur 7. Verticale wachtrijtheorie en effecten op verkeerstroom



(Bron: (Hoogendoorn, 2011))

Het voordeel van verticale wachtrijmodellen is dat het een vereenvoudigd wiskundig model biedt. Dit is te zien in figuur 7, waarbij geen rekening wordt gehouden met de terugslag van file (zie opbouw groene auto's) en voertuigen rijden niet langzamer dan de ontwerpsnelheid totdat de file bereikt wordt – rode lijn onderin het figuur 7. Automobilisten ondervinden dus geen vertraging bij het naderen van de file. Een nadeel van het gebruik van verticale wachtrijtheorieën is de beperking in het doorrekenen van de terugslag van file (Kim, 2003). De meeste dynamische modellen geven de automobilist namelijk weer als een

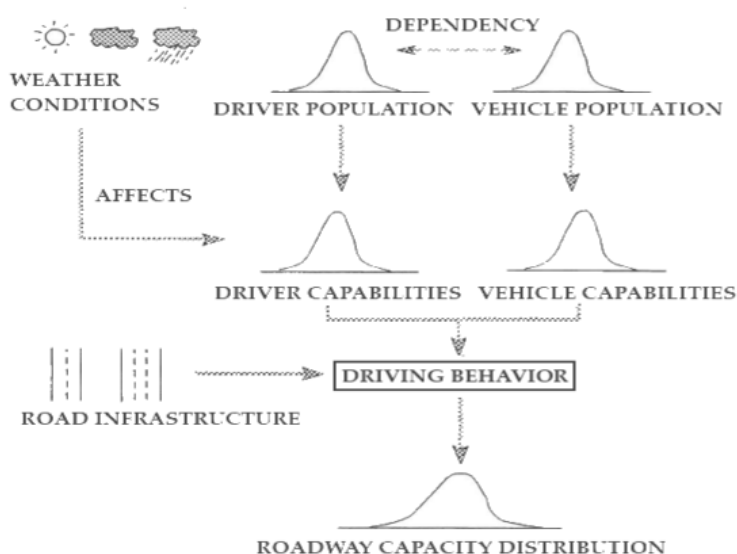
schokgolfverplaatsing. Om de effectiviteit van matrixborden vast te stellen is niet alleen het simuleren van file van belang, maar ook het simuleren van snelheden, die afnemen bij hoge intensiteiten. Daarom is een uitbreiding op het verticale wachtrijmodel ontworpen. Deze uitbreiding wordt gemodelleerd met behulp van veranderingen in de I/C waarde. Het groene vlak in figuur 7 staat voor de vertraging die wordt berekend met deze uitbreiding van het verticale wachtrijmodel.

Capaciteit van de weg

Capaciteit (C) is een complex begrip dat vaak verkeerd wordt geïnterpreteerd of gebruikt, waardoor er verwarring ontstaat. De capaciteit van een weg wordt binnen de verkeerskunde beschreven als een 'stochastische variabele die continu onderhevig is aan veranderingen' (figuur 5)(Chung et al., 2007). De beschikbare capaciteit op een weg wordt bepaald door de gemiddelde minimale volgtijd (h_t) die bestuurders nog durven aan te houden ten opzichte van hun voorganger. De gemiddelde volgtijd (h_t) wordt bepaald door de volgende factoren zie (figuur 8):

1. De samenstelling van de infrastructuur;
2. Weersinvloeden
3. De samenstelling van het verkeer (auto's, vrachtwagens, etc) en type automobilisten;
4. Het verkeersmanagement; de beschikbare informatie en geleiding van automobilisten;

Figuur 8. Factoren die capaciteit beïnvloeden



(Bron: van Nes, (2011))

Het kwantificeren van de begrippen 'bottlenecks' en 'capaciteit' blijkt complex en is sterk afhankelijk van omgevingsfactoren zoals wegconfiguratie en weersinvloeden. Tevens is de essentie van veranderingen in gedrag (kwantificeerbaar in microscopische variabelen) aangetoond in de literatuur. Zelfs onder gelijke omgevingsfactoren kan de maximale intensiteit waarbij een file wordt veroorzaakt per dag met wel 10% verschillen (Carlson et al., 2010). De capaciteit in dit onderzoek wordt berekend op basis van gegevens uit het CIA en uit de capaciteitscalculator van Transpute, waarbij rekening wordt gehouden met een

gemiddeld percentage van 8% vrachtwagens. De formule die toegepast wordt in verdere analyse is:

$$C_{pae} = C * [(f_{pae} - 1) * \%_{va} + 1] \quad (1)$$

Waarbij:

C_{pae} = Capaciteit Personen auto equivalent

f_{pae} = Factor personen auto equivalent

$\%_{va}$ = Percentage vrachtverkeer

I/C verhouding

De intensiteit-capaciteit verhouding geeft de fase aan waarin de verkeersstroom zich bevindt. Deze fases kunnen variëren doordat intensiteitsstromen over de dag variëren of capaciteiten veranderen. Binnen dit onderzoek zijn beide parameters flexibel toepasbaar, waarbij de nadruk wordt gelegd op veranderingen in de stochastische variabele capaciteit. Zoals aangegeven wordt het verticale wachtrijmodel uitgebreid waarbij de vertraging voorafgaande aan het bereiken van de file wordt bepaald aan de hand van I/C verhoudingen in relatie met fundamentele verkeersdiagrammen. Een nadere toelichting wordt gegeven in hoofdstuk 5.

De verhouding tussen de intensiteit (I) en de capaciteit (C) beschrijft de fase waarin de verkeersstroom zich bevindt. De I/C verhouding wordt gebruikt als indicator om de kwaliteit van de verkeersstroom aan te geven. Een I/C verhouding lager dan 0,8 staat voor een goede verkeersafwikkeling, terwijl een I/C waarde groter dan 1,0 een zeer slechte verkeersafwikkeling suggereert. Bij een I/C verhouding gelijk aan 1,0 is sprake van dagelijkse structurele filevorming met stilstaande file, zoals aangegeven in tabel 3.

Tabel 3. Overzicht van I/C verhouding

IC verhouding	Fase verkeersstroom
$I/C < 0,8$	Geen vertraging, vrije doorstroming. Of wel vertraging maar stilstaand in file (uitleg hoofdstuk 5).
$I/C > 0,8$ maar kleiner dan 1,0	Structurele filevorming, voornamelijk in spitsperiode. Vertraging in snelheden.
$I/C = 1,0$	Filevorming.

(Bron: Goemans, (2011))

2.3 Kwetsbare weggedeeltes

Aangezien het simuleren van elke mogelijke vorm van een weggedeelte erg tijdrovend is en er diverse filelocaties zijn waarbij matrixsignaalgevers in grote of mindere mate actief zijn, moet een nadere afbakening gemaakt worden van relevante onderzoeksgebieden. Om de gebieden te bekijken waar matrixborden (vaak) actief zijn en waar (vrijwel dagelijks) filevorming optreedt, is het van belang verschillende kwetsbare weggedeeltes te onderzoeken. Het selecteren (en onderling vergelijken) van kwetsbare weggedeeltes heeft als doel de bijdrage van verschillende functies van matrixborden te kwantificeren.

Bij het afbakenen van kwetsbare gebieden is onderscheid gemaakt naar het risico dat er vertraging optreedt. Volgens de literatuur zijn er twee mogelijkheden om kwetsbare weggedeeltes in kaart te brengen (Knoop et al., 2010):

- Deze methode simuleert elke mogelijke vorm van een type blokkade die kan voorkomen op het weggedeelte. Dit is zeer tijdrovend.
- Deze methode bepaalt kwetsbare weggedeeltes aan de hand van evenwichtstoedelingen en de zekerheid waarmee bepaald wordt hoe vaak een mogelijke gebeurtenis zich voordoet.

Binnen dit onderzoek wordt gekozen voor de tweede methode.

Criteria voor voorselectie weggedeeltes

Knoop et al. (2010) stellen dat de voorselectie van weggedeeltes voor effectmeting van verkeersmaatregelen zoals matrixborden geen zuivere methode is. Deze voorselectie is immers afhankelijk van de gekozen indicatoren en van de inputwaarden behorende bij deze risicogebieden. Hierdoor kan er mogelijk een vertekend beeld ontstaan van risicogebieden waarbij filevorming optreedt. Dit bezwaar lijkt echter voor dit onderzoek, waarbij ook is gekozen voor voorselectie van enkele weggedeeltes, minder relevant. Het gaat hier immers niet om het gedetailleerd in kaart brengen van het gehele netwerk, maar over de verandering in effecten die optreden door het toepassen van verkeerssignalering. Door kwetsbare gebieden te selecteren waarbij matrixsignaalgevers (vaak) actief zijn kan voor deze verschillende onderzoeksgebieden met- en zonder matrixsignaalgevers nagegaan worden wat de effecten zijn. Via voorselectie van weggedeeltes op basis van drie relevante filelocaties kunnen effecten van matrixborden het beste gemeten worden, indien daarbij het gevaar van bias voldoende wordt onderkend. De verdere theoretische onderbouwing is gepresenteerd in bijlage 5.

Locatie van files en momenten waarop files zich voordoen

Risicogebieden waarin zich kwetsbare weggedeeltes bevinden zijn te onderscheiden naar locaties en komen voort uit onderzoek van TNO (Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) (TNO, 2011). TNO onderscheidt zes filelocaties waarin zich kwetsbare weggedeeltes bevinden.

1. Locaties waar veel schokgolven voorkomen;
2. Locaties waar veel incidenten voorkomen;
3. Locaties waar restcapaciteit beschikbaar is;
4. Locaties waar “rijdende files” voorkomen;
5. Locaties waar files zorgen voor nieuwe files op aansluitende locaties in het verkeersnetwerk;
6. Infrastructurele files.

In bijlage 5 is per filelocatie een beschrijving gegeven en is de toepassing van matrixborden per filelocatie uiteengezet. De selectie van de onderzoeksgebieden berust op onderzoek van TNO en KIM (kennisinstituut voor mobiliteitsbeleid).

Uit onderzoek van KIM (2012) is gebleken dat files veroorzaakt door een te hoge intensiteit de belangrijkste categorie vormen (76.6%). Ten tweede worden files veroorzaakt door ongevallen die plaatsvinden op het hoofdwegennet (16.7%). Een laatste categorie die een

noemenswaardig aandeel heeft zijn de werk in uitvoeringsmaatregelen (5.5%). De overige categorieën bedragen tezamen nog geen 1% (zie bijlage 6 voor meer details).

Voor dit onderzoek naar de effectiviteit van matrixborden is het van belang om goed zicht te hebben op de locaties van files en momenten waarop die zich voordoen. De filelocaties die geen noemenswaardig aandeel hebben in het totaal aantal files worden buiten beschouwing gelaten. De criteria voor voorselectie van weggedeeltes waarop gemeten wordt, is van belang voor de volgende vier parameters:

- 1) De inkomende stroom;
- 2) De capaciteit;
- 3) De duur van de gebeurtenis;
- 4) De kans op een gebeurtenis.

De criteria uit het onderzoek van Knoop et al. (2010) die hierbij aansluiten zijn de criteria 1, 4 en 8. Hieronder volgt de samenhang tussen de vier parameters en de drie criteria.

1. De inkomende stroom

De omvang van de inkomende stroom is van essentieel belang bij de vaststelling van het aantal voertuigverliesuren enerzijds (figuur 3). Anderzijds zullen filelocaties beïnvloed worden door de fluctuatie in de inkomende stroom door het aantal toe- en afritten. De mate van inkomende stroom bepaalt de aangroei van de wachtrij. Criterium 1 geeft de grootte van de intensiteit aan die bepalend is voor de impactfactor en hangt nauw samen met criterium 4.

2. Capaciteit en 3. De duur van de gebeurtenis

De capaciteit is de beperkende factor. Wanneer de intensiteit de capaciteit overschrijdt ontstaat er file. De capaciteit fluctueert sterk zoals reeds is uitgelegd, daarom staat de locatie van de file nauw in relatie met capaciteitsveranderingen. De derde parameter 'de duur van de gebeurtenis' hangt samen met de veranderingen in capaciteit. Wanneer de capaciteit herstelt na een file of de capaciteit juist beïnvloed wordt door matrixborden zal de duur van de gebeurtenis (file) veranderen. Deze twee afhankelijkheden sluiten aan bij het criterium 8: I/C verhouding. Dit criterium geeft weer dat de kans en de impact van knelpunten op een weggedeelte hoger is bij een hogere I/C verhouding. Tevens zal het effect van matrixborden de I/C verhouding veranderen. Daarom wordt er in dit onderzoek gekozen om criteria 8 bij verdere analyse toe te passen.

4. De kans op een gebeurtenis

Weggedeeltes zijn verschillend en daarom wordt in dit onderzoek de parameter 'kans op gebeurtenissen' verder gekwantificeerd. Filelocaties onderscheiden zich ook doordat er meer ongelukken voorkomen. De afbakening van filelocaties zal zich daarom ook focussen op de kans op ongevallen. Criterium 4: 'Kans en het gevolg' sluit aan bij deze parameter.

Afbakening filelocaties

Op basis van het onderzoek van TNO (2011) en de selectiecriteria van Knoop et al (2010) zijn de drie meest relevante locaties voor dit onderzoek, beschreven. Omdat dit onderzoek zich beperkt tot de functionaliteiten AID, homogeniseren en kruis-pijl worden schokgolf files niet meegenomen. Locaties waar zich schokgolven en/of nieuwe files uit andere file ontstaan worden de algoritmes DYNAMAX of SPECIALIST toegepast. De tweede filelocatie (rijdende files) zijn lastig te voorspellen en worden vaak gestimuleerd en gecontroleerd door

meerdere benuttingsmaatregelen. Voor een “rijdende file” is er niet altijd een I/C verhouding nodig vanwege milieu- of weer algoritmes. Tevens is een “rijdende file” lastig te analyseren aangezien de kans en het gevolg erg onzeker, zodra de file niet bewust wordt geactiveerd. Deze drie filelocaties worden daarom niet meegenomen in de analyse. Een verdere uiteenzetting van deze drie locaties staat beschreven in bijlage 5.

Tabel 4. Uiteenzetten van criteria en parameters voor afbakening filelocaties

Filelocaties	Criterium 1: Aangroei intensiteit	Criterium 4: Kans en het gevolg	Criterium 8: I/C verhouding
<i>Parameters</i>	<i>(Intensiteit)</i>	<i>(Duur en kans)</i>	<i>(Capaciteit)</i>
1. Schokgolven	Buiten afbakening	Buiten afbakening	Buiten afbakening
2. Ongelukken	x	x	x
3. (beperkte) restcapaciteit	x	x	X
4. “rijdende” files	X	n.v.t.	n.v.t.
5. Files zorgen voor nieuwe files	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6. Infrastructurele files	x	x	x

De volgende drie filelocaties zijn derhalve van belang voor dit onderzoek, zie tabel 4 :

(1) Locaties waar veel incidenten voorkomen (zie parameter 2 uit tabel 4: Ongelukken)

Locaties waar veel ongelukken gebeuren zijn opritten, afritten en weefvakken. Ringwegen zijn wegen met veel op- en afritten, waardoor deze wegen gevoelig zijn voor ongelukken. Ook hebben ongelukken op deze wegen grote gevolgen voor het onderliggend wegennet en de bereikbaarheid van (economische)-toplocaties. Het is dus van belang om de incidenten op deze wegen te beperken. Naast verkeerssignalering zijn er andere projecten die zich richten op verkeersveiligheid, zoals incidentmanagement, waarbij wordt nagegaan of bijvoorbeeld een langere invoegstrook de kans op ongelukken vermindert. Ook monitoring van het wegverkeer om ongelukken sneller waar te nemen valt hieronder, maar incident management valt buiten de scope van dit onderzoek. De diversiteit van de wegconfiguratie met de daarbij behorende relatieve kans op een verkeersongeval wordt wel meegenomen binnen het onderzoek.

(2) Locaties waar restcapaciteit beschikbaar is (zie parameter 3 uit tabel 4: Beperkte restcapaciteit)

Deze locaties ervaren gedurende de spits file, maar hebben wel nog restcapaciteit. Dat wil zeggen dat er een kleine marge is waarbij de intensiteit van de verkeersstroom kan toenemen in vergelijking met de daluren. Op piekmomenten zal wel file ontstaan. De omvang van de restcapaciteit en hoe deze varieert in de tijd is sterk verschillend per wegvak. Voor die locaties met een aanzienlijke restcapaciteit is spits mijden interessant en daarvoor zijn maatregelen gerelateerd aan “Het Nieuwe Werken” voor de hand liggend, maar ook matrixborden kunnen effect hebben. Het verschil in beide maatregelen is dat gestreefd wordt naar het gelijkmatiger verdelen van de intensiteit bij de maatregel “het Nieuwe Werken”. Matrixborden dragen bij aan het reguleren van de verkeersstroom door gemiddelde snelheden van automobilisten te verlagen onder kritieke intensiteiten, waardoor de stroom auto’s wordt beïnvloed.

(3) Locaties waar “infrastructurele files” voorkomen; (zie parameter 6 uit tabel 4: Infrastructurele files)

Infrastructurele files komen structureel voor en benuttingsmaatregelen zijn ontoereikend voor het verminderen of oplossen van de file. Fysiek uitbreiden van het wegennet is dan een voor de hand liggende oplossing. Echter op sommige locaties zijn geen fysieke uitbreidingen mogelijk en zijn toch andere benuttingsmaatregelen noodzakelijk, zoals matrixborden. Deze locaties zullen ook worden meegenomen in dit onderzoek.

Kortom, twee type files staan centraal in dit onderzoek, namelijk files die voortkomen uit verkeersongevallen en infrastructurele files. Files die ontstaan door een beperkte restcapaciteit worden veelal in spitsmomenten gerekend tot infrastructurele files. De keuze tot de afbakening naar twee type files is gebaseerd op de drie verschillende onderzoeken die zojuist zijn besproken. De belangrijkste momenten op de dag waarbij matrixborden aangaan zijn de ochtend- en avondspits, de filelocaties en de vier belangrijke parameters (ondersteund door literatuur) die van invloed zijn op de blootstelling aan files en ongevallen. Daarnaast bestaat er over de gehele dag op bepaalde delen van de weg een verhoogde kans op ongevallen, waarbij de kans en het gevolg gevoeliger zullen zijn bij spitsmomenten.

Voor de afbakening van het onderzoek is het relevant onderzoeksgebieden te analyseren waarbij de oorzaak – infrastructurele beperkingen- van de file gelijk aan elkaar is. Tevens dient voor het meten van effecten op de verkeersstroom filevorming te ontstaan. Dit is bij infrastructurele files vrijwel elke dag aan de orde.

File door verkeersongevallen

Verkeersveiligheid op Rijkswegen verschilt sterk van elkaar, hierdoor zal de bijdrage van matrixborden op de prestatie-indicatoren verschillend zijn. Hoe groot de kans is op ongevallen en wat daarvan het gevolg is wordt op basis van risico- en impact gegevens uit literatuur en het ondersteunend beslismodel berekend. Risico's worden in dit onderzoek gedefinieerd als de kans dat een ongeval zich voordoet op het gehele wegvak. Vervolgens wordt de impact van een ongeluk berekend. Binnen dit onderzoek wordt de impact beschreven als de file die ontstaat door een ongeval.

De gemeten impact is afhankelijk van de vier eerder genoemde parameters: de inkomende stroom; de capaciteit; de duur van de gebeurtenis en de kans op een gebeurtenis.

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe risico's en impact een bijdrage leveren aan het in kaart brengen van de effecten van matrixborden.

2.4 Tussentijdse conclusie

Het doel van dit hoofdstuk is vanuit de verkeersstroomtheorie inzicht te geven in relevante theorieën voor dit onderzoek. Op basis van de gekozen theorieën kan een transparant en onderbouwd beslismodel ontworpen worden waarmee de effectiviteit van matrixborden in kaart wordt gebracht. Vanuit de verkeersstroomtheorie is de samenhang tussen de microscopische- en macroscopische variabelen van belang bij het identificeren van effecten van matrixborden. De relatie tussen macroscopische variabelen (intensiteit, capaciteit en

snelheid) leveren onder andere een bijdrage aan het berekenen van vertraging opgelopen door file.

In dit onderzoek is gekozen file te simuleren volgens de verticale wachtrijtheorie. Dit heeft als voordeel dat effecten van matrixborden transparant in kaart kunnen worden gebracht. Een nadeel is dat de werking van het verticale wachtrijmodel niet overeenkomt met de werkelijkheid, waardoor de toe- en afname van de wachtrij 'extra' aangedikt wordt. Het (verticale) wachtrijmodel geeft aan dat de grootste filelengte ontstaat wanneer de intensiteit voor het laatst groter is dan de capaciteit. Tevens laat het zien dat de filelengte blijft toenemen naarmate de intensiteit stijgt. Dit vormt de basis voor het onderzoek: uitstel van file zal een minder lange file veroorzaken.

De meting van de effectiviteit van matrixborden wordt dus ondersteund door het verticale wachtrijmodel. Beperkingen van dit model doordat geen vertraagde afwikkeling wordt meegenomen, worden ondervangen door een uitbreiding met 'I/C' verhoudingen.

Nadere afbakening van het onderzoeksgebied is van belang en de literatuurstudie biedt daarvoor goede aanknopingspunten. Het onderzoek richt zich op vier parameters, namelijk 1) De inkomende stroom; 2) De capaciteit; 3) De duur van de gebeurtenis; en 4) De kans op een gebeurtenis. De drie meest relevante filelocaties zijn geselecteerd namelijk allereerst locaties waar veel incidenten (ongelukken) voorkomen; ten tweede locaties met beperkte restcapaciteit en ten derde locaties met infrastructurele files.

Kortom, in de verdere analyse wordt de effectiviteit van matrixborden bepaald voor infrastructurele files en files die op deze weggedeeltes ontstaan door ongevallen. Hierbij wordt de opgelopen vertraging door file berekend aan de hand van de theorie uit het verticale wachtrijmodel (en uitbreiding) en wordt verkeersveiligheid berekend aan de hand van de formule voor impact, waarbij de kans en de duur van de gebeurtenis belangrijke parameters zijn. Welke effecten matrixborden daadwerkelijk hebben op de verkeersstroom volgens bepaalde onderzoeken is nog onduidelijk. Hoofdstuk 3 zal dan ook de effecten uit literatuurstudie beschrijven.

HOOFDSTUK 3 EFFECTEN VAN MATRIXBORDEN

VOLGENS DE LITERATUUR

In dit hoofdstuk komen allereerst de in de literatuur beschreven effecten van matrixborden naar voren, uitgesplitst naar verschillende 'orde effecten'. Het overzicht van deze effecten dient om prestatie-indicatoren te selecteren die gebruikt worden om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Voor de twee geselecteerde prestatie-indicatoren, bereikbaarheid en veiligheid, is vervolgens aangegeven hoe deze gemeten worden. Tot slot worden resultaten van in Nederland uitgevoerde effectstudies gepresenteerd.

3.1 Eerste-orde effecten van matrixborden als prestatie-indicatoren

The "follow the leader" types of problems basic to car following are the product of the product of the psychological behavior of the drivers as they respond to certain stimuli'

(Herman R, 1959)

Verschillende studies – waarvan de resultaten in paragraaf 3.2. worden besproken – beschrijven diverse soorten effecten. Deze effecten zijn te onderscheiden op macroscopisch en microscopisch niveau. Eerste-orde effecten zijn directe beoogde effecten van matrixborden op macroscopisch niveau. De effecten op microscopisch niveau worden in dit onderzoek beschreven als tweede-orde effecten en derde-orde effecten. Dit onderscheid is gemaakt om effecten die betrekking hebben op gedrag apart te onderzoeken. Hoewel deze effecten zeker niet per definitie ongewenst zijn, zijn het vaak indirecte effecten van matrixborden op de verkeersstroom. De derde-orde effecten zijn automobilist-afhankelijk, omdat ze bepaald worden door gedrag (Filmon et al., 2013). Op basis van de hierna beschreven studies van o.a (Zackor (1991); Hegyi et al.,(2010), Lee et al.,(2006), Koutsopoulos et al., (2011)) zijn de gevonden effecten op de functionaliteiten van matrixborden in tabel 5 ingedeeld naar orde.

Tabel 5. Eerste-, tweede en derde-orde effecten

Eerste- orde effecten	Tweede- orde effecten	Derde-orde (gedrag) effecten
Bereikbaarheid/ Reistijden	Frequentie van het aantal files	Volgafstanden
Veiligheid	De duur van files	Reactie van automobilisten
Reistijdbetrouwbaarheid	De frequentie van het aantal schokgolven	
Geluid	Rijbaan bezetting	
Emissie	Snelheidsverschillen tussen automobilisten van verschillende rijbanen	
	Kans op ongevallen	

Prestatie-indicatoren in relatie tot functionaliteiten matrixbord

In Tabel 6 staan de effecten van matrixborden waarin de effectstudies inzicht geven. De verschillende variabelen afkomstig uit de literatuurstudie zijn afgezet tegen de verschillende functionaliteiten van matrixborden (zie voor de definitie van de begrippen bijlagen 2 en 4). De plussen en minnen geven aan in welke mate de functie een verwachte invloed heeft op

de effecten, zoals beschreven is in literatuurstudies. Deze tabel geeft inzicht in de belangrijkste effecten van matrixborden, op basis waarvan prestatie-indicatoren kunnen worden opgesteld. Uit tabel 6 blijkt dat de AID de meeste invloed heeft op alle vier de variabelen. Kruis-pijl heeft geen negatieve invloed op snelheid en capaciteit. Desalniettemin beïnvloedt de functionaliteit de alertheid en stimuleert het een homogene verkeersstroom. De AID functionaliteit heeft de positiefste bijdrage op alle vier de variabelen. Interessant blijft echter de onzekerheid over de mate van effecten en de grootte van effecten die functionaliteiten hebben op de verkeersstroom. Hieronder wordt ten eerste het effect beschreven vanuit de theorie, waarna vervolgens de door praktijkstudies gemeten effecten worden toegelicht.

Tabel 6. Overzicht effecten en functionaliteiten van matrixborden

Functionaliteit	Triggerpoint werking (Rijkswaterstaat-AVV, 2007)	Snelheid	Capaciteit	Reactie alertheid / automobilist	Homogene verkeersstroom
Homogeniseren*	Intensiteit & Snelheid	+/-	+	-/+	+
AID	Intensiteit & Snelheid	+/-	+/-	+/-	+
Kruis-pijl	Extern**	0	0	+	+

+	Positieve bijdrage
+/-	
-/+	
0	Geen bijdrage

* (milieu en weer vallen buiten de afbakening)

** VCNL verkeerscentrum Nederland

Functionaliteit homogeniseren in relatie tot prestatie-indicatoren

Smulders (1988) heeft de werking van homogeniseren onderzocht en beschrijft dat homogeniseren 1 tot 2 % capaciteitsverhoging veroorzaakt en dat de variatie in snelheid tussen automobilisten lager is dan voor de invoering van matrixborden. Echter de bijdrage van de gehele functie is afhankelijk van het algoritme voor activatie, waarbij het systeem getriggerd kan worden door milieu, weer en hoge intensiteit-snelheid verhoudingen.

Functionaliteit AID in relatie tot prestatie-indicatoren

Lee heeft met een Real-Time Crash Prediction Model aangetoond dat de veiligheid verbetert op het weggedeelte waarbij snelheidsbeperkingen worden opgelegd (Lee et al., 2006). Dit wordt bevestigd door het onderzoek van Talebpour naar microscopische variabelen, (Talebpour et al., 2013). In tabel 6 is dit te zien door de combinatie van de positieve bijdrage die AID heeft op snelheid, reactie en op een homogene verkeersstroom. Allaby toonde eveneens aan dat bij snelheidsbeperkingen onder hoge intensiteit de veiligheid kan toenemen (Allaby et al., 2007). Allaby beschreef ook een afname in het aantal ongevallen met ongeveer 39%. Uit dit onderzoek van Allaby, maar ook onderzoeken van Fudala en Cho blijkt dat onder lage intensiteit de veiligheid afneemt wanneer snelheidsbeperkingen worden opgelegd (Allaby et al., 2007), (Fudala et al., 2010) (Cho et al., 2013). Dit betekent dat matrixborden een negatieve werking hebben op de verkeersveiligheid wanneer activatie te vroeg optreedt. Een werking van algoritmes met als triggerpoints intensiteit en snelheid blijken een betere werking te hebben op de verkeersveiligheid. Dit is tevens in interviews met experts van RWS, Verkeerscentrum Nederland, Infrastructuur & Milieu, TNO en de TU Delft bevestigd. Deze interviews zijn tijdens het onderzoek afgenomen en zijn vertrouwelijk.

Zackor (1991), Papageoriou (2007), Hegyi (2010) en Geisterfeldt (2011) hebben aangetoond met analyses op microscopisch niveau dat de werking van snelheidsbeperkingen onder hoge intensiteiten positief is doordat snelheidsverschillen tussen voertuigen afnemen.

Functionaliteit kruis-pijl in relatie tot prestatie-indicatoren

Gaber en Patel (1994) en Gaber en Srinivasan (1998) hebben de effectiviteit van de kruis-pijl functionaliteit in kaart gebracht. Resultaten uit het onderzoek tonen aan dat de gemiddelde snelheid van de automobilisten lager is dan zonder de toepassing van matrixborden (Li et al., 2009). Richard en Lin tonen aan dat de snelheid ongeveer 10 km/uur lager is (Lin et al., 2004); (Richard et al., 1986). In hoofdstuk 4 wordt nader inzicht geboden in de effecten van de functionaliteit pijl-kruis. Bovendien blijkt voor deze functionaliteit vanuit de wetenschap onzekerheid te bestaan over de effectiviteit van deze maatregel ten opzichte van traditionele verkeersborden (Huebschman et al. 2003); (Li et al., 2009). De effectiviteit van de pijl-kruis maatregel zal binnen dit onderzoek alleen bekeken worden voor ad hoc gebeurtenissen zoals ongelukken, omdat de inzet van een kruis-pijl bij werkzaamheden niet verschilt van de mobiele uitvoering van verkeerssignalering. In paragraaf 1.3 en bijlage 2 zijn de werking van de functionaliteiten beschreven.

Algemene effecten van matriborden

Kwon geeft aan dat dynamische snelheden (zoals AID) meer effect hebben dan de statische snelheidslimieten (zoals homogeniseren), omdat automobilisten meer reageren op dynamische snelheidsverschillen (Kwon et al., 2007). Dit sluit aan bij de uitkomsten van onderzoeken van Hoogendoorn en Hegyi (Hegyi et al., 2009), (Hegyi et al., 2010).

De effectiviteit van snelheidsbeperkingen als gevolg van matrixborden blijkt veelal samen te gaan met de harmonisatie van snelheden. Studies van Lee, Marchesini en Filmon tonen aan dat de kans op ongevallen toeneemt naarmate er bepaalde verhoudingen tussen snelheid en intensiteit worden overschreden (Lee et al., 2006), (Marchesini et al., 2010) en (Filmon, 2013). Yu (2014) adviseert op basis van dezelfde onderzoeksbevindingen om eerder in te spelen op de grote snelheidsverschillen en preventief te werk te gaan (Yu et al., 2014). Dit zou betekenen dat er een ander algoritme in matrixborden zou moeten worden ingebouwd, waarbij gemiddelde snelheden op accurate wijze worden gemonitord. Tevens zouden automobilisten worden geïnformeerd over de gemiddelde snelheid via matrixborden (Yu et al., 2014).

Talebpour heeft tevens in zijn onderzoek aangetoond dat 10% opvolgedrag van automobilisten voldoende is om de initiële doelstellingen van dynamische snelheidslimieten te bereiken (Talebpour et al., 2013). Het percentage automobilisten dat de snelheidslimieten opvolgt zal nader besproken worden in hoofdstuk 4. Voor dit onderzoek is deze bevinding van Talebpour relevant, omdat uit dit onderzoek van blijkt dat de doelstellingen van het systeem al behaald zouden worden bij slechts 10% opvolging van de snelheidslimieten.

Kortom, uit de bovenstaande analyses blijkt dat de prestatie-indicatoren in relatie tot de functie van matrixsignaalgevers voornamelijk gerelateerd zijn aan twee eerste orde effecten namelijk bereikbaarheid/reistijd (vanaf nu: bereikbaarheid) en veiligheid.

Afbakening effecten tot prestatie-indicatoren

De functionaliteiten van matrixborden hebben voornamelijk betrekking op de eerste-orde effecten bereikbaarheid/reistijd en veiligheid. Garcia beschrijft een positieve bijdrage van 0,7% op milieu-effecten door de toepassing van Matrixborden (Garcia-Castro et al., 2014). Ondanks de positieve beïnvloeding van verkeerssignalering op de eerste-orde milieu-effecten (geluid en emissie) wordt dit effect niet meegenomen. Weer- en milieu algoritmes van matrixborden worden niet onderzocht en de bijdrage van matrixborden op milieu-effecten zijn zeer beperkt. In tabel 7 zijn daarom deze kolommen groen gearceerd. De literatuur geeft aan dat reistijdbetrouwbaarheid met name een rol speelt bij het verkeersmanagement met betrekking tot het informeren van reizigers (Nai et al., 2013). Omdat de focus van dit onderzoek niet gericht is op het verhogen van de reistijdbetrouwbaarheid, wordt reistijdbetrouwbaarheid in dit onderzoek niet als prestatie-indicator meegenomen. In tabel 7 is te zien dat reistijdbetrouwbaarheid een andere rol speelt dan de twee milieu-effecten. Reistijdbetrouwbaarheid is namelijk niet groen gearceerd. Dit komt omdat reistijdbetrouwbaarheid voor automobilisten, maar ook in de toekomst een belangrijke rol zal gaan spelen (Kim, 2013). Zoals beschreven wordt reistijd betrouwbaarheid niet meegenomen, omdat voor het kwantificeren van effecten van matrixborden op reistijdbetrouwbaarheid andere onderzoeksmethoden dienen te worden toegepast.

In Tabel 7 zijn de eerste-orde effecten van matrixborden waarin de effectstudies inzicht geven samengevat. De verschillende variabelen afkomstig uit de literatuurstudie zijn afgezet tegen de verschillende functionaliteiten van matrixborden. Een definitie van de begrippen is beschreven in bijlage 2 en 4. De plussen en minnen geven aan in welke mate de functie een verwachte invloed heeft op de eerste-orde effecten. Dit onderzoek wil zich richten op het meten van de meest essentiële prestatie-indicatoren om de hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden. Tabel 7 geeft een overzicht van de drie verschillende functionaliteiten waarop effecten van de prestatie-indicatoren worden gemeten. De plussen in de tabel worden bij elkaar opgeteld om inzicht te geven welke prestatie-indicatoren het meest beïnvloed worden. Om enigszins een onderscheid te maken in de waardering van een 'plus', krijgen twee plussen de waardering 3, een plus 2 en +/- krijgt de waardering 1. De informatie uit tabel 6 laat zien dat de functie homogeniseren de minste te verwachten invloed heeft, zoals blijkt uit het totaal aantal plussen (2) in de onderste rij. De AID functionaliteit wordt als meest effectieve maatregel beoordeeld op basis van de gevonden waarden uit de effectstudies.

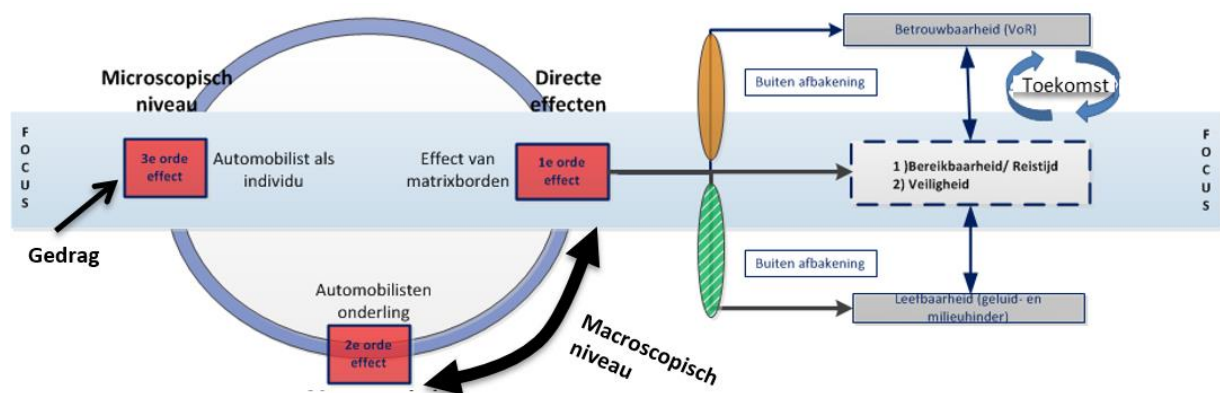
Tabel 7. Overzicht eerste-orde effecten

Eerste orde effecten & tweede orde effect 'betrouwbaarheid'	Bereikbaarheid / Reistijd	Veiligheid	Reistijd betrouwbaarheid	Milieu - Geluid	Milieu-Emissie
Homogeniseren	+ / -	-/+	--	++	++
Kruis-Pijl	+ / -	++	-/+	-	-
AID	++	+	+/-	+	+
De te verwachten bijdrage (Aantal +)	5	6	2		
	1 +				
	2 +				
	3 +				

Samengevat zal het onderzoek zich vooral richten op twee eerste-orde effecten van matrixborden, namelijk bereikbaarheid en veiligheid. Dit zijn de twee prestatie-indicatoren. Tevens blijkt uit de zojuist beschreven onderzoeken dat het gedrag van automobilisten een belangrijke rol speelt. Uit de analyse van tabel 7 blijkt dat de functionaliteit AID, voor de twee prestatie-indicatoren, het beste 'scoort'. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of dit klopt. Andere eerste-orde effecten zijn, zoals gezegd, niet van direct belang voor matrixborden. Reistijdbetrouwbaarheid is nader uitgelegd in bijlage 6 en wordt niet verder meegenomen in de analyse.

De focus van het onderzoek met een onderscheid naar macroscopisch en microscopisch niveau en naar prestatie-indicatoren zoals hierboven uiteengezet is schematisch weergegeven in de volgende figuur.

Figuur 9. Overzicht focus (scope) van het onderzoek



3.2 Meten van de prestatie-indicatoren

3.2.1. Bereikbaarheid/reistijd

Rijkswaterstaat beschrijft bereikbaarheid als een omgevingskwaliteit waarmee met een bepaalde maat aan "gemak" een bestemming wordt bereikt. De mate van weerstand, de keerzijde van gemak, hangt af van de reistijd, de reisafstand en de reisvoorzieningen die men ondervindt tijdens de reis (RWS, 2014).

RWS merkt op dat reistijd niet alleen de rijtijd, maar ook de tijd in de file omvat. Ook de "extra" reistijd die een automobilist incalculeert voor de kans op file alvorens hij zijn reis begint, maakt deel uit van de reistijd. Onder de reisvoorzieningen verstaat men welke de reisinformatie beschikbaar is voor de automobilist en de mate waarin men daar toegang toe heeft.

Voor dit onderzoek wordt bereikbaarheid beschreven als het verschil in reistijd uitgedrukt in voertuigverliesuren over een aantal wegvakken van de Rijkswegen in Nederland. De voertuigverliesuren ontstaan door een vertraging in rijtijd voor de nadering van een file, de tijd dat automobilisten in de file staan en de rijtijd die vertraagd wordt door het opvolgen van de snelheidslimieten op de weg t.o.v. de ontwerpssnelheid van de weg. De verandering op bereikbaarheid wordt in kaart gebracht doordat het weggedeelte wordt bekeken met en zonder matrixborden. Bereikbaarheid en de werking van matrixborden op de

verkeersstroom worden mede bepaald door het opvolgedrag van automobilisten (Papageorgiou et al., 2008).

Effectveranderingen die optreden in de prestatie-indicator bereikbaarheid worden gemeten over een weggedeelte waarbij vanuit de nul-situatie een vergelijking wordt gemaakt met een situatie waarbij er wel matrixborden op de weg aanwezig en waarbij er verwacht wordt dat het desbetreffende weggedeelte één of meerdere knelpunten heeft, waarbij de intensiteit de capaciteit overschrijdt zodat de matrixborden in werking treden.

Er is gebleken dat matrixborden naar verwachting een positieve bijdrage leveren aan de capaciteit van de weg (Koutsopoulos, 2011). Echter mogelijke veranderingen in de ordergrootte van de variabele capaciteit door matrixborden zijn onbekend. Ten tweede is het gedrag van de automobilisten onbekend, waarbij twee afhankelijkheden van belang zijn:

- In welke mate reageren automobilisten op de matrixsignaalgevers?
- In welke mate volgen automobilisten de getoonde snelheid op de displays?

Om de prestatie-indicator bereikbaarheid te bepalen wordt de variabele beschreven aan de hand van verandering in reistijd uitgedrukt in het aantal voertuigverliesuren. Tevens wordt het gedrag van de automobilist dat zich voordoet bij het waarnemen van matrixborden gekwantificeerd. Gedrag is een erg lastig te kwantificeren variabele. Over gedrag bestaan verschillende percepties die met behulp van de onzekerheidsanalyse in hoofdstuk 4 accuraat en helder in kaart worden gebracht. Hoofdstuk 5 beschrijft hoe de invloed van gedrag (opvolg) gedrag meegenomen wordt in de berekening van de effectiviteit van matrixborden.

De reistijd

De reistijd beschrijft de gehele verplaatsing van punt A naar punt B. De reistijd kan bepaald worden door herkomst-bestemming matrixen te gebruiken of door per tijdsinterval te berekenen hoeveel en hoelang voertuigen in de file staan en vertraging oplopen door een vertraagde afwikkeling (Nai et al., 2013). Met de toepassing van het verticaal wachtrijmodel en uitbreiding wordt de vertraging ten opzichte van de oorspronkelijke reistijd gekwantificeerd.

Aantal voertuigverliesuren

Voertuigverliesuren beschrijven de totale door voertuigen opgelopen vertraging. Het aantal voertuigverliesuren wordt bepaald door de mate waarin de rijnsnelheid op een bepaald moment over een bepaald wegvak afwijkt van de gegeven normsnelheid van die weg, vermenigvuldigd met het aantal auto's dat op dat moment op het wegvak rijdt. Bij projecten van Rijkswaterstaat wordt hierbij de normsnelheid van 100km/uur gehanteerd. Deze snelheid wordt gezien als de snelheid die gehanteerd wordt bij een vrije afwikkeling van het verkeer (Reumers et al., 2013). Dit geeft echter niet altijd een juiste weergave van de werkelijkheid aangezien op sommige wegdelen de normsnelheid hoger of lager is dan 100 km/uur.

Voertuigverliesuren ontstaan dus enerzijds bij een aangepaste rijnsnelheid en anderzijds door de tijd dat automobilisten in de wachtrij staan. Binnen dit onderzoek worden op een drietal manieren de voertuigverliesuren gemeten en getest op effectveranderingen:

1. Voertuigverliesuren door een gedwongen vertraagde afwikkeling;

2. Voertuigverliesuren door een ongedwongen vertraagde afwikkeling met een aangepaste snelheid vanwege matrixborden;
3. Voertuigverliesuren door file.

Nummer 1 en 3 worden berekend aan de hand van veranderingen in I/C verhouding. Dit is de bijdrage van het uitgebreidere model op het verticale wachtrijmodel. Nummer 3 zijn de voertuigverliesuren die worden berekend uit het verticale wachtrijmodel. De voertuigverliesuren worden gemeten door veranderingen als een negatieve verandering in de reistijd weer te geven.

3.2.2. Veiligheid

“De netwerkprestatie veiligheid wordt uitgedrukt in het aantal verkeersongevallen per jaar. Het is een maatstaf die betrekking heeft op de mate waarin het verkeer ongelukken veroorzaakt”. (RWS, 2014)

Het verbeteren van de verkeersveiligheid leidt tot meerdere baten, namelijk een vermindering in materiële schade, het vermijden van files en het vermijden van dodelijke slachtoffers en gewonden.

Snelheid speelt een belangrijke rol bij traffic management. Uit onderzoek van OECD (1996) en de National Research Council (2010) is gebleken dat er een relatie bestaat tussen snelheid en de frequentie dat (een bepaalde type) ongelukken voorkomen. Dit is te verklaren via de grotere complexiteit en de beperktere controle die automobilisten hebben bij hogere snelheden, waardoor de kans op het maken van fouten groter is. Daarnaast beschrijft Hauer (2009) dat zowel de gemiddelde snelheid als de spreiding in snelheid de kans op ongelukken beïnvloedt. Sommige studies, waaronder die van Solomon (1964), hebben gevonden dat de kans op ongelukken toeneemt naarmate de snelheid toeneemt. Recente studies zoals Garber en Gadiraju (1998) en Gaber en Ehrhart (2000) bevestigen dit onderzoek. In tabel 8 zijn de resultaten uit deze studies samengevat:

Tabel 8. Resultaten literatuurstudie met betrekking tot veiligheid

Type relatie	Onderzoek
Er bestaat een relatie tussen snelheid en frequentie (soort) ongelukken.	OECD (1996); National Research Council (2010)
De kans op ongelukken neemt toe naarmate de snelheid toeneemt.	Salomon (1964)
De gemiddelde snelheid en spreiding in snelheid beïnvloeden de kans op ongelukken	Hauer (2009); National Research Council (2010); Scully (2007)

Berekening van de kans op een ongeval

Om voor een bepaalde weglengte de verkeersveiligheid te bepalen en de invloed van matrixborden op de verkeersstroom vast te stellen, wordt een onderscheid gemaakt naar normale op- en afritten en weefvakken. De kans op een ongeval wordt bepaald door:

- Intensiteit: Het aantal miljoen voertuigkilometers (SWOV, 2005)
- Relatieve kans per kilometer wegvak per uur op een pech- en ongeval naar wegkenmerk (KIM, 2010)

De wijze van berekening volgt in hoofdstuk 5.

Intensiteit

In tabel 5 is beschreven dat de kans op ongevallen een tweede-orde effect is. Dit komt omdat de kans op ongevallen van invloed is op de bereikbaarheid van de weg. De kans op ongevallen is afhankelijk van de intensiteit. Daarom is het interessant om na te gaan in welke mate intensiteitsverschillen invloed hebben op de kans op ongevallen en hoe matrixborden dit beïnvloeden. Hoe meer voertuigen over de weg rijden hoe groter de kans op ongevallen is. In dit onderzoek wordt de week- en werkdag van elkaar onderscheiden. Tevens geven de verschillende intensiteiten over de drie wegen inzicht in de veranderingen van het totaal aantal ongevallen. De grootste intensiteitsverschillen vinden plaats in de loop van de ochtend en namiddag/avond gedurende de spits op een werkdag.

Daarnaast verandert de intensiteit doordat stromen bij elkaar komen. Het is daarom ook interessant te kijken naar de verschillende wegvakken zoals een weefvak, een oprit en een afrit om de kans op ongelukken te bepalen. Dit kan in kaart worden gebracht door de verschillen in het rijgedrag en snelheid te kwantificeren die optreden door het plaatsen van matrixborden. Datagegevens kunnen echter moeilijk vergeleken worden, mede omdat in studies waar dat wel geprobeerd is, parameters vaak onbekend zijn.

Gedrag van de automobilist

Een derde belangrijke maar nog onbekende parameter is het gedrag van de automobilist bij het waarnemen van matrixborden, zoals beschreven bij de prestatie-indicator bereikbaarheid.

3.3 Effectmetingen van matrixborden

3.3.1. Effecten vanuit wetenschap

Papageouriou beschrijft dat matrixborden zijn ingevoerd met als doel de capaciteit en de veiligheid op de weg (positief) te beïnvloeden. De functionaliteiten en algoritmes (de vastgestelde waarde waarbij het matrixbord in werking treedt) van matrixborden hebben betrekking op de volgende drie aspecten (Papageorgiou et al., 2008):

1. Verlagen van de gemiddelde snelheid (bij kritieke dichtheden).
2. Verminderen van snelheidsverschillen tussen de voertuigen op een bepaalde rijbaan
3. Verminderen van snelheidsverschillen tussen de voertuigen op verschillende rijbanen.

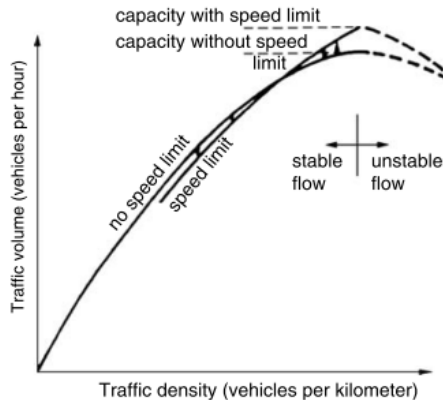
In bijlage 2 zijn de verschillende functies, algoritmes en de door de overheid vastgestelde randvoorwaarden nader uitgelegd. In deze paragraaf komen eerst de resultaten uit studies naar de effecten van matrixborden op bereikbaarheid en veiligheid aan de orde, gevolgd door een uiteenzetting van de beperkingen van deze studies.

Bereikbaarheid

Zackor (1972) en Cremer (1979) hebben via simulatiestudies aangetoond dat het toepassen van matrixborden een (positief) effect op de capaciteit van de weg heeft. Dit effect komt voort uit het aanpassen van de gemiddelde snelheid van de verkeersstroom bij kritieke dichtheden als gevolg van matrixborden. Wanneer lagere snelheden worden weergegeven bij een lagere intensiteit resulteert dit in een lagere gemiddelde snelheid op de weg, terwijl

bij hogere intensiteiten de gemiddelde snelheid toeneemt door het stabiliserende effect van de matrixborden. Hierdoor zou de capaciteit met 5 à 10% toenemen. Dit effect is weergegeven in figuur 10.

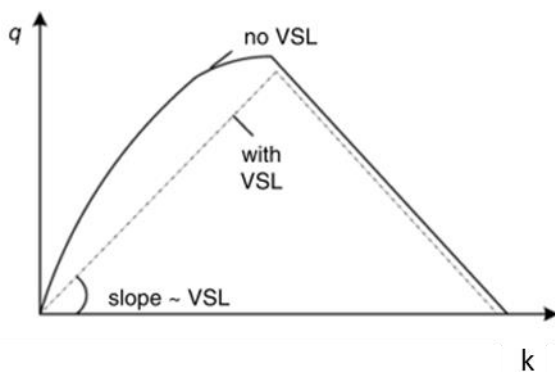
Figuur 10. Invloed van snelheidslimieten op de verkeersstroom volgens Zackor



(Bron: Zackor (1991))

Uit onderzoek van Hegyi blijkt echter dat het onrealistisch is dat voertuigen met een lagere snelheid beïnvloed worden door de snelheidslimieten (zie Figuur 11) (Hegyi et al., 2003). Daarnaast concludeert Hegyi dat onder alle omstandigheden de capaciteit op de weg verkleind wordt (Hegyi, et al 2003). In dit onderzoek van Hegyi is het fundamenteel diagram alleen aangepast voor dichtheden waar de snelheden normaal gesproken hoger zouden zijn. De instroom voor de file wordt beperkt door een langzamere gemiddelde snelheid waardoor het ontstaan van congestie kan worden uitgesteld. Een afname van de instroom ontstaat doordat hogere dichtheden ontstaan tijdens het opvolgen van de lagere snelheidslimieten.

Figuur 11. Invloed van snelheidslimieten op de verkeersstroom volgens Hegyi



(Bron: Hegyi et al., 2003)

Figuur 11 geeft aan dat bij het toepassen van snelheidsmaatregelen onder kritieke toestand een lagere snelheid wordt aangehouden. Echter, in figuur 10 komt onder een kritische toestand met matrixsignaalgevers de gemiddelde snelheid van de verkeersstroom boven de initiële curve en neemt de capaciteit toe. Terwijl uit onderzoek van Hegyi, zie figuur 11, is gebleken dat het onrealistisch is dat voertuigen met een lagere snelheid beïnvloed worden door de snelheidslimieten. Hegyi concludeert dat de capaciteit gelijk blijft evenals

Papageorgiou (2008), maar het rijgedrag van de automobilisten wel verandert, waardoor onder een hogere dichtheid een hogere snelheid wordt gereden (Hegyi et al., 2003). Figuur 10 en 11 stemmen niet met elkaar overeen. Dit toont de onzekerheid aan onder wetenschappers met betrekking tot een verandering in snelheid en capaciteit onder invloed van matrixborden.

Veiligheid

Wetenschappers zoals Hegyi, Nissan, Lee, Allaby en Koutsopoulos verschillen ook van mening over de bijdrage van matrixborden aan de veiligheid (Garcia-Castro et al., 2014), (Lee et al., 2006) en (Allaby et al., 2007). Een deel van de wetenschappers heeft aangetoond dat veiligheid geen bijdrage zou leveren bij matige verkeersdrukke (Nissan, Koutsopoulos), terwijl andere wetenschappers juist aantonen dat matrixborden eerder aan zouden moeten alvorens de spits begint om de verkeersveiligheid positief te beïnvloeden (Koutsopoulos, 2011).

Nissan (2006) en Koutsopoulos (2011) beschrijven dat de effectiviteit van matrixborden op veiligheid sterk afhankelijk zijn van het (opvolg)gedrag van automobilisten. Daarentegen toont Allaby aan dat een te hoog opvolggedrag een negatief effect heeft op de reistijd (Allaby et al., 2007). Deze komen wel overeen in de suggestie dat een trade-off tussen het verminderen van kans op ongevallen en het verlagen van de reistijd gevonden dient te worden (Lee et al., 2006) en (Allaby et al., 2007). Het vernieuwde dynamische algoritme SPECIALIST brengt de effectiviteit van de maatregelen in relatie met het (opvolg)gedrag van de automobilist, hetgeen een onzekere factor is. SPECIALIST is een algoritme dat bewust lagere snelheidslimieten instelt onder kritieke dichtheden om actieve bottlenecks te creëren en te controleren, tevens wordt het algoritme locatie specifiek ingericht. Resultaten uit praktijkonderzoek met het algoritme SPECIALIST duiden op een toename in capaciteit alvorens er file ontstaat, echter is dit niet op elke locatie gemeten. De bijdrage van SPECIALIST aan dit onderzoek is het inzichtelijk maken van het belang bij de differentiatie van beleid bij de uitvoering van matrixborden en beschrijft en (beïnvloed) het belang van de onbekende parameter (opvolg)gedrag. Meer informatie staat beschreven in bijlage 5 en 6.

Ander onderzoek sluit aan op de beschreven effecten van het SPECIALIST algoritme (Popov et al., 2008) (Carlson et al., 2010). Zij tonen aan dat op lokale locaties MTM systemen een vergelijkbare reistijd reductie opleveren als netwerk gespreide controlesystemen. Deze bevindingen zijn interessant voor het onderzoek, omdat het bijdraagt aan de relevantie van gedifferentieerd beleid van matrixborden, wat onderdeel is van de onderzoeksvraag.

Uit wetenschappelijk onderbouwde studies is gebleken dat effecten van matrixborden niet eenduidig zijn. Er bestaan ten eerste verschillende wetenschappelijke theorieën over de effecten van matrixborden. Ten tweede beschrijven wetenschappers verschillende mate aan effecten van matrixborden op de verkeersstroom.

3.3.2. Effecten uit praktijkstudies

De resultaten uit praktijkstudies zijn grotendeels gebaseerd op onderzoeken naar effecten van matrixborden op Nederlandse Rijkswegen. Deze effecten uit praktijkstudies zijn hieronder uiteen gezet.

De Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV) heeft in 1994 en 2002 snelheids- en intensiteitsmetingen verricht voor- en na de plaatsing van verkeerssignalering (zie bijlage 6 voor een korte beschrijving). Na het toepassen van de product-limiet methode is gebleken dat er een groter verkeersaanbod is verwerkt. Volgens dit onderzoek is er bij hetzelfde verkeersaanbod een kleinere kans op congestie door toepassen van verkeerssignalering. De capaciteit is toegenomen met 5.2%. Er zijn wel vragen te stellen bij de nauwkeurigheid van de voormetingen en de definitie van het begrip capaciteit.

Een ander onderzoek is gedaan naar DVM-maatregelen op de A2 uit 2002 en tevens naar het inhaalverbod vrachtverkeer over de periode 1995-2000 (Grontmij, 2002). Verder stelt Grontmij vast dat op basis van de combinatie van de invoering van matrixborden en het inhaalverbod voor vrachtauto's een toename van 5% van de capaciteit heeft plaatsgevonden. Verder is de filezwaarte per voertuigkilometer onderzocht. Daaruit blijkt dat het aantal voertuigkilometers minder snel toeneemt dan de filezwaarte. Grontmij concludeert daarom dat de verkeershinder is afgenomen en dat MTM-signalering een positief effect heeft (zie details in bijlage 6).

In bijlage 6 is een overzicht van deze en andere effectstudies opgenomen. Dit overzicht van effectstudies geeft aan dat:

- Effecten op capaciteit variëren tussen [1; 15] %;
- Effecten op veiligheid in aantal verkeersongevallen varieert van [-15;-30]%; d.w.z een afname van het aantal ongelukken;
- Secundaire effecten variëren van [-7 ; -50]%;
- De gemiddelde snelheid +10%.

3.3.3. Beperkingen van effectstudies naar matrixborden

Een beperking van matrixborden is volgens Carlson de aansturing van basale algoritmes, waardoor onder veranderende verkeersstoestand niet dezelfde efficiëntie wordt bereikt (Carlson et al., 2010). Dit heeft onder andere te maken met de beperkte range aan snelheidslimieten die weergegeven kunnen worden, de participatie van automobilisten en tevens de veranderingen in wegconfiguratie en samenstelling. Desalniettemin blijven wetenschappers uiteenlopende theorieën en onderzoeksbevindingen hebben over het effect van matrixborden op de verkeersstroom. Dit volgt ook uit de eerder genoemde complexiteit van de stochastische variabele capaciteit uit hoofdstuk 2. In deze paragraaf zijn de verschillende wetenschappelijke theorieën uiteengezet, zodat inzicht in de complexiteit en de onzekerheid omtrent de effectiviteit van matrixborden inzichtelijk wordt gemaakt.

Een vermindering in capaciteit ontstaat wanneer auto's moeten afremmen alvorens ze de file inrijden, waarna de auto's daarna weer accelereren. Deze verschillen in decelleratie en acceleratie zorgen voor een lagere dichtheid op de weg. Dat leidt dan weer tot een lagere capaciteit (capaciteitsval). De parameters die (mogelijk) van invloed zijn op de terugval van de capaciteit (gedrag automobilisten; type file; duur van de file en de snelheid in de file) zijn ontleend aan wetenschappelijk onderzoek. Het is echter onduidelijk welke variabele de grootste invloed heeft op de capaciteitsval. Dat de verandering in capaciteit erg afhankelijk is

van het type bottleneck blijkt uit onderzoek van Chung, waarbij het verschil tussen de capaciteit voor en na de file -1% of -30% bedraagt, afhankelijk van het type bottleneck. Dit wordt tevens ondersteund door verschillende andere wetenschappelijke studies (Carlson, et al., 2010), (Chung et al., 2007)

Wetenschappers meten bovendien verschillende effecten, waarbij zij gebruik maken van verschillende methoden voor het meten van de effectiviteit van matrixborden. Hierbij is er een onderscheid te maken tussen wetenschappelijke studies waarbij data uit de praktijk is gebruikt of uit simulatiestudies voor het kwantificeren van effecten. Allaby (2007), Lee (2008) en Abdel-Aty (2006) onderbouwen het belang van simulatiestudies, terwijl simulatiestudies ook gelimiteerd zijn doordat ze bijvoorbeeld beperkt zijn in het modelleren van het menselijk gedrag (Habtemichael 2013). Onderzoeken ondersteund door praktijkdata zijn beperkt doordat verkeersdata fout geïnterpreteerd kan worden. Dit komt mede doordat verkeers toestanden in de praktijk sterk variëren, waardoor de eigenschappen en algoritmes van matrixborden niet goed aansluiten.

Tevens verklaren wetenschappers dat de fundamentele verkeersdiagrammen van Eddie en May wellicht niet meer overeenkomen met de huidige fundamentele relaties. (Koutsopoulos, 2011). Een andere bevinding is dat data hevig varieert onder kritieke toestanden als gevolg van de sterke beïnvloeding van het opvolg(gedrag) van de automobilisten. Er wordt gesuggereerd dat capaciteit beter kan worden beschreven in de relatie tussen bezetting en snelheid in plaats van de gebruikelijke relatie dichtheid-snelheid (Heydecker, 2011). Ten slotte kunnen veranderingen in infrastructuur en in de auto-industrie leiden tot veranderingen van het gedrag van automobilisten in de praktijk ten opzichte van reeds bekende fundamentele verkeersdiagrammen van May en Eddie (May et al., 1990) en (Koutsopoulos, 2011). In bijlage 5 zijn de fundamentele verkeersdiagrammen beschreven.

Deze onzekerheid en diversiteit aan inzichten duidt op de noodzaak om effecten van matrixborden transparant te analyseren. Hoofdstuk 4 probeert deze onzekerheden te objectiveren door middel van een statisch gekwantificeerd onderzoeksmethode, namelijk Expert Elicitation, wat binnen de verkeerskunde nog niet eerder is toegepast. Een wetenschapper die gebruik heeft gemaakt van een statistisch onderzoek, om effecten van matrixborden te onderbouwen is Koutsopoulos, die gebruik maakt van de multi-regime models van Eddie (1990) waarbij hij resultaten uit simulatiestudies en praktijkstudies statistisch heeft vergeleken. Koutsopoulos beschrijft in zijn onderzoek dat de bijdrage van matrixborden op de capaciteit niet eenduidig waren, hoewel andere studies juist een toename in de capaciteit beschreven.

3.3 Tussentijdse conclusie

In dit hoofdstuk zijn de volgende onderliggende onderzoeksvragen beantwoord:

- Wat zijn de belangrijkste prestatie-indicatoren die beïnvloed worden door matrixborden zoals aangegeven in de literatuur?
- Wat zijn de effecten van matrixborden op de verkeersstroom zoals die zijn beschreven in literatuurstudies?

Uit de set aan eerste-orde effecten van matrixborden zijn bereikbaarheid en veiligheid de belangrijkste prestatie-indicatoren. Deze prestatie-indicatoren zijn eveneens afhankelijk van de derde-orde effecten die gerelateerd zijn aan het (opvolg)gedrag van automobilisten.

De effecten van matrixborden zijn moeilijk vergelijkbaar doordat methoden waarmee effecten gemeten worden zeer verschillend zijn. Wetenschappers die data gebruiken uit de praktijk ondervinden beperkingen doordat verkeersstromen en wegconfiguraties continu veranderen en daardoor zijn de gemeten effecten locatie- en tijdsafhankelijk. Wetenschappers die gebruik maken van simulatiestudies zijn beperkt in het simuleren van het (opvolg)gedrag van automobilisten, waardoor resultaten mogelijk afwijken van praktijkervaringen. Bovendien verschillen wetenschappers van mening over de interpretatie van de werking van matrixborden op de verkeersstroom. Het overzicht van de studies van (Hegyi (2003); Zackor (2006) en Papageouriou (2006)) geeft aan dat er geen overeenstemming is met betrekking tot de te verwachten effecten van matrixborden en waarom deze effecten ontstaan. Zackor gaat uit van vergroting van de capaciteit via een verlaging van de gemiddelde snelheid als gevolg van matrixborden, terwijl Hegyi en Papageouriou uitgaan van een gelijkblijvende capaciteit en een toenemende dichtheid. Tevens beschrijven wetenschappers (Hegyi (2006), Lee (2006), Nissan (2006) en Koutsopoulos (2011) verschillende theorieën waarom juist matrixborden een positief of negatief effect hebben op verkeersveiligheid.

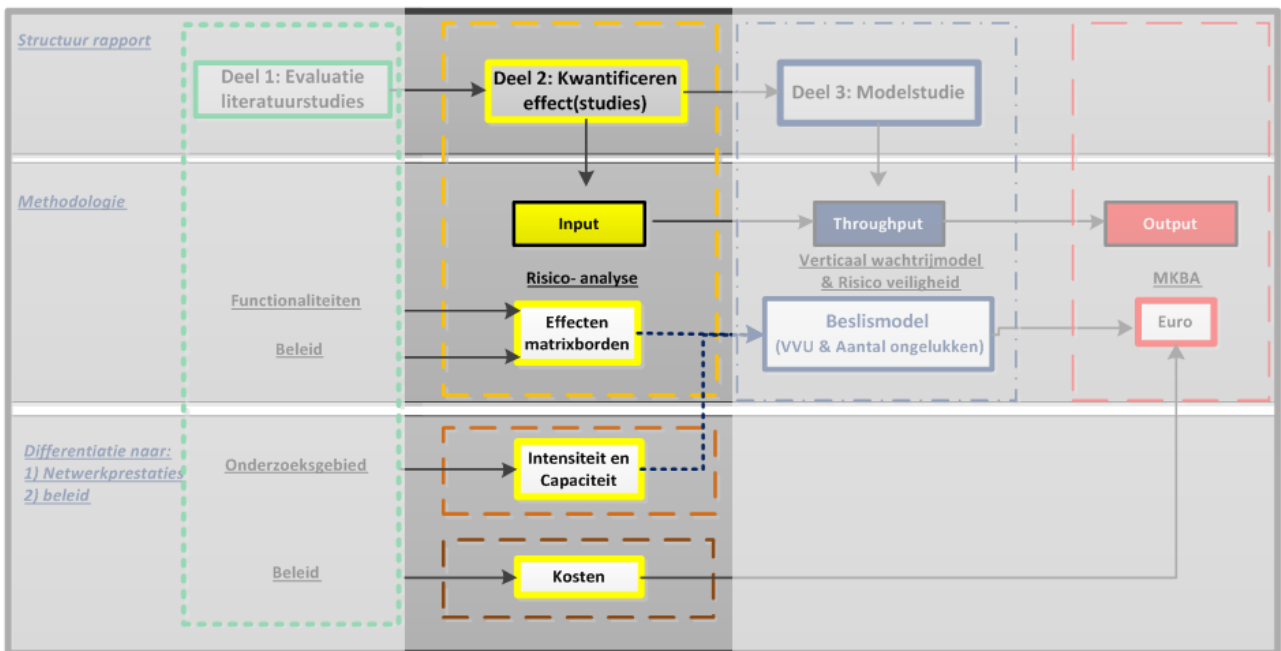
Deze bevindingen en diversiteit in resultaten komt ook bij praktijkstudies aan de orde, waarbij effecten door matrixborden op de capaciteit variëren tussen [1;15] %, effecten op veiligheid in aantal verkeersongevallen variëren tussen [-15;-30]%, secundaire verkeersongevallen afnemen tussen [-7;50]% en de gemiddelde snelheid met 10% toeneemt.

Tenslotte beschrijven wetenschappers het belang van een transparant inzicht in de effecten van matrixborden, waarbij de fundamentele verkeersdiagrammen van Eddie en May (1990) gereviseerd dienen te worden en het belang van een gedifferentieerd beleid voor matrixborden wordt ondersteund.

Kortom, voor het ondersteunend beslismodel worden de eerste-orde effecten beschreven als prestatie-indicatoren 'bereikbaarheid' en 'veiligheid' gekwantificeerd, waarbij deze effecten vooral betrekking hebben op capaciteit, veiligheid en deels op (opvolg)gedrag. Hoofdstuk 4 zal door middel van een onzekerheidsanalyse de verschillende effecten van matrixsignaalgevers gedifferentieerd naar beleid inzichtelijk maken en uiteenzetten.

– “Input” –

Figuur 12. Overzicht “input”



HOOFDSTUK 4 ONZEKERHEIDSANALYSE VIA EXPERT ELICITATION

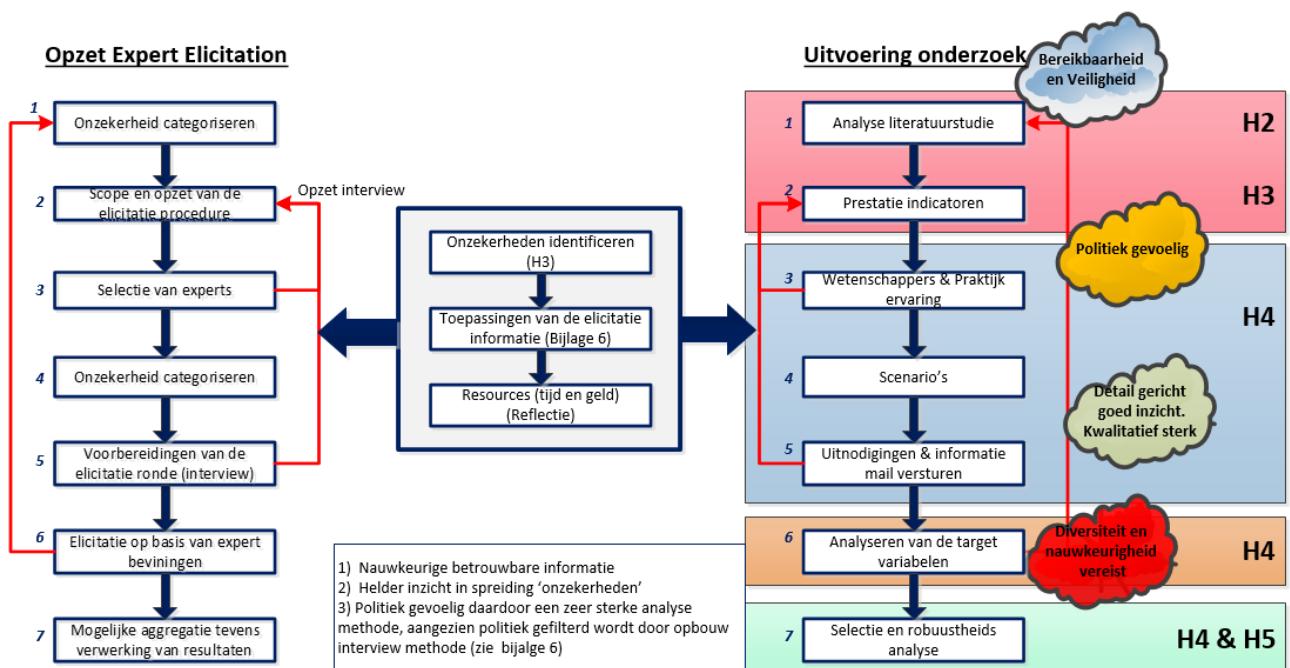
In de vorige hoofdstukken is gebleken dat de diverse studies niet leiden tot eenduidige waarden voor verschillende belangrijke geselecteerde variabelen over bereikbaarheid en veiligheid. Om de verschillende variabelen te kwantificeren, is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd, door middel van het bevragen van experts over hun inschatting van effecten van verschillende verkeerskundige maatregelen ('good guess'). Deze methodiek wordt ook wel Expert Elicitation genoemd (en is relevant wanneer de literatuur niet eenduidig is over bepaalde waarden en waarbij er vaak sprake is van een gering aantal waarnemingen). Zo zijn 10 experts geïnterviewd. Dit 'panel' van experts was zorgvuldig samengesteld om de kwaliteit van het onderzoek te waarborgen. Het expertpanel vertegenwoordigde diverse werkveldgroepen binnen de verkeerskunde die aansluiten bij de drievariabelen: capaciteitsveranderingen, verkeersongevallen en het opvolgedrag van de automobilisten zoals beschreven in 3.3. De vertegenwoordigers van werkveldgroepen zijn te verdelen in wetenschappers en mensen uit het werkveld of een combinatie van beide, zie bijlage 1.

Uiteindelijk hebben 8 van deze 10 experts het interview volledig afgerond. De bedoeling is om tot eenduidige waarden voor de drie bovengenoemde variabelen te komen. Via deze methode is onzekerheid over de desbetreffende effecten in kaart gebracht. Tevens is via deze methode inzichtelijk gemaakt welke effecten de verschillende functionaliteiten van matrixborden hebben op de verkeersafwikkeling op Rijkswegen in Nederland.

4.1 Onzekerheidsanalyse

De aanpak van expert elicitation is opgezet volgens het stappenplan in figuur 13.

Figuur 13. De 'zeven stappen' voor Expert Elicitation



(Bron: Flandoli et al.,(2011)).

Rood: Uit de literatuurstudie zijn voor dit onderzoek geselecteerde onzekere variabelen naar voren gekomen.

Blauw: De selectie van de experts is hierboven uiteengezet.

Oranje: Dit proces bestaat uit verschillende stappen van dataverzameling en analyse. De antwoorden van experts worden gezien als statistische hypothesen waarbij de antwoorden beoordeeld worden op basis van statistische kans (kalibratie) en de mate waarin hun antwoorden informatief zijn. Vervolgens worden de scores van de kalibratie en informatie gecombineerd tot gewichten, waarbij gewichten worden toegekend op een zo objectief mogelijke basis. Op deze wijze komt de statistische nauwkeurigheid overeen met de mate waarin de antwoorden van de experts informatief zijn. Het voornaamste doel en kracht van deze kwalitatieve onderzoeksmethode is het individueel bepalen van de mate van kalibratie in combinatie met de onzekerheid van de kennis van de experts. Op basis daarvan wordt vervolgens inzichtelijk gemaakt hoe groot de onzekerheid is over de verschillende effecten van matrixsignaalgevers tussen de experts.

Groen: Een voordeel van Expert Elicitation is dat, wanneer antwoorden gecombineerd worden, de experts die slecht scoren op kalibratie minder sterk meewegen in de gehele beoordeling (Session et al., 2008), waardoor risico's voor foutieve inschattingen verminderd worden. Elicitation vindt plaats op basis van 'kwantiele kwantificatie', waarbij de verschillende antwoorden van de experts gecombineerd worden tot een "decision maker" (DM). Dit is gedaan aan de hand van de volgende stappen:

- De experts worden op basis van kennis (accuraatheid en informatiegehalte) gerangschikt.
- De experts drukken hun antwoord uit in een waarde (50^e percentiel) en geven daarnaast hun beoordeling in twee andere percentielintervallen (5^e en 95^e percentiel) waarin zij van mening zijn dat het antwoord zich bevindt.
- Op basis van een set van 7 vragen (figuur 11) worden de experts individueel beoordeeld op basis van hun score van kalibratie en informatie gehalte.
- Vervolgens wordt de som van alle gewichten genomen op basis van het product: de vermenigvuldiging tussen de kalibratie en informatiewaarde. Op basis van deze tweede gewichtstoekenning is het mogelijk de kwantielwaarde en verdeling af te leiden over de onbekende vragen waarover consensus wordt gezocht.
- Deze verdelingen worden wederom lineair gepoold op basis van de toekenning van individuele gewichten.
- Hierbij moet worden opgemerkt dat de kans dat een exact gelijke verdeling voortkomt uit de groepsanalyse versus een individuele kansverdeling van een expert zeer klein is. Echter, de kansverdeling representeert een "decision maker" die op basis van de verkregen informatie van de experts binnen de groep verkregen is; gedifferentieerd naar de kwaliteit van beoordeling op de zogenaamde seed items.

In bijlage 7 wordt deze methode nader uiteengezet.

Seed en target variabelen

Bij expert elicitation wordt een onderscheid gemaakt tussen de seed- en target variabelen. Eerst worden vragen gesteld voor het kwantificeren van de seed variabelen waarna de targetvragen volgen. Zoals aangegeven zijn de volgende drie variabelen onderzocht:

1. Capaciteitsveranderingen;
2. Verkeersongevallen;
3. (Opvolg)gedrag van de adviessnelheden.

Voor deze drie categorieën zijn allereerst de seed vragen gesteld, gevolgd door de target vragen over dezelfde categorieën, gevolgd door enkele open vragen over dynamax en het onderzoek. De seed variabelen zijn de fundamentele vragen die de betrouwbaarheid van de expert beoordelen. Bij de seed variabelen is bewust niet gevraagd naar het effect van matrixborden, omdat de kwantificatie pas aan de orde komt bij de target vragen. Er is gekozen een algemeen beeld te krijgen van de drie categorieën die wederom in dezelfde volgorde terugkomen in de target variabelen. De target variabelen zijn derhalve de variabelen die gekwantificeerd worden. Het eindresultaat van deze target variabelen fungeert als inputwaarden voor het ondersteunend beslismodel dat in hoofdstuk 5 wordt besproken. Zie bijlage 7 voor de gedetailleerde vragen per categorie en voor de seed- en target variabelen.

Samenstelling expertpanel

Bij het samenstellen van het expertpanel zijn drie criteria gehanteerd om de kwaliteit van het onderzoek te waarborgen:

- 1) De expert moet praktisch en/of wetenschappelijk werkveld ervaring hebben.
- 2) Het onderzoek wordt bekeken vanuit een multidisciplinaire invalshoek. Daarom worden verschillende belanghebbende partijen betrokken bij het interview.
- 3) Experts dienen specifieke expertise te hebben op één of meer van de drie onderwerpen (capaciteitsveranderingen, verkeersongevallen en opvolggedrag).

De geselecteerde experts vertegenwoordigen zowel het praktische werkveld (zoals dagelijkse monitoring van verkeer en het oplossen van vraagstukken oplossen m.b.t verkeer en vervoer) als het wetenschappelijk werkveld (zoals verkeersstroomtheorie, dynamisch verkeersmanagement, veiligheid en psychologie). zijn:

- Praktisch werkveld:
 - Dagelijkse monitoring van verkeer
 - Vraagstukken oplossen m.b.t verkeer en vervoer
- Wetenschappelijk werkveld:
 - Verkeersstroomtheorie
 - Dynamisch verkeersmanagement
 - Veiligheid
 - Psychologie

Zie bijlage 3 voor meer informatie.

4.2 Resultaten expert scores

4.2.1. Rangschikking experts

- The Aristotelian's response to Galilei's telescope was to effect: " Even if the contraption works when pointed to earthly objects, that doesn't mean it also works when pointed to the heavens."-
(Tuomisto et al., 2008)

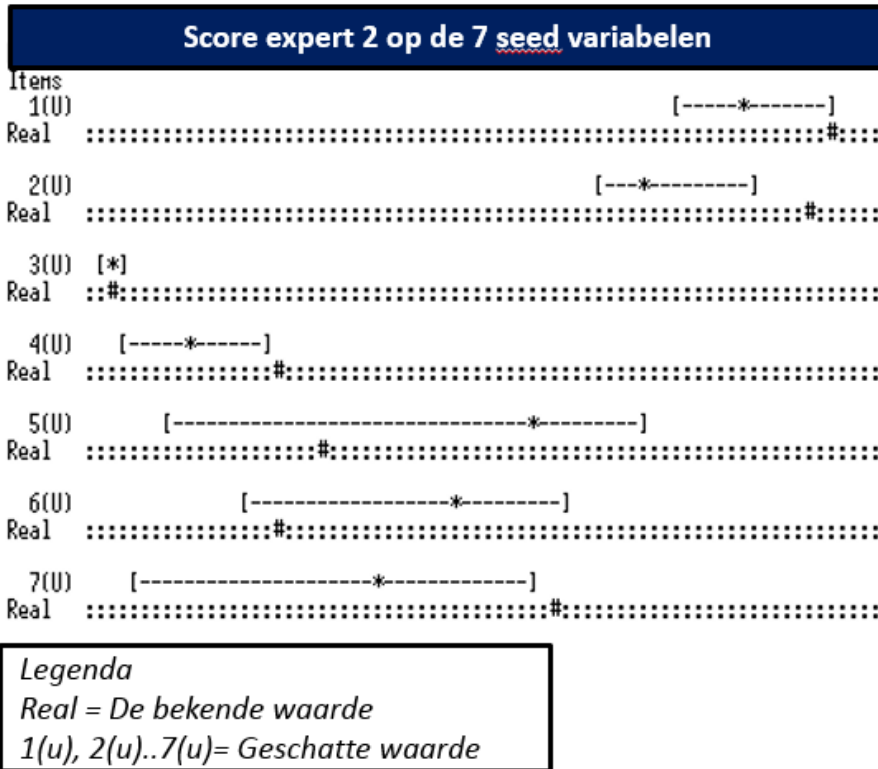
De antwoorden van de verschillende experts zijn gecombineerd op basis van de "proper scoring rule" (zie bijlage 7) tot een nieuw gegeven dat de inputwaarden voor het verkeersmodel vormt. Dit is gedaan zowel voor de seed variabelen als voor de target variabelen. Tot slot worden de resultaten op basis van de risicoscore van de seed en target variabelen gecombineerd om te komen tot een meer solide antwoord. Er zijn voldoende onderbouwde bevindingen waarbij de score op en de kwaliteit van de seed variabelen een goede indicator is voor de kwaliteit van de target variabelen (James et al., 2010).

4.2.1. Resultaten seed variabelen

De eerste observatie is af te leiden uit de kalibratie en het informatiegehalte per expert op de seed variabelen. Zoals gezegd is de bekwaamheid van elke experts om probabilistisch onzekerheid te definiëren bepaald aan de hand van 7 seed variabelen. Vervolgens is vastgesteld hoe goed de expert is in het schatten van kansen aan de hand van de spreiding van hun antwoorden en hun verwachting van de mate van juistheid van hun antwoord. Kortom, hierbij is nagegaan per expert of er een onderschatting- of overschatting wordt gemaakt betreffende de seed variabelen. In bijlage 7 zijn de volledige resultaten weergegeven, waarbij per variabele het gegeven antwoord ('real') is weergegeven en de daarbij behorende spreiding. Op basis van deze resultaten is het gewicht per expert bepaald voor dit onderzoek. Alvorens de observaties te bespreken wordt beschreven hoe de resultaten geïnterpreteerd dienen te worden aan de hand van een voorbeeld, zie figuur 14.

Figuur 14. Overzicht van vragen en als voorbeeld de resultaten van expert 2 op de seed variabelen

1. Wat is de capaciteit van een driestrooksweg met vluchtstrook, verkeerssignalering, 8% vrachtwagenverkeer uitgedrukt in PAE/uur?
2. Wat is de capaciteit van een tweestrooksweg met vluchtstrook, verkeerssignalering, 8% vrachtwagenverkeer uitgedrukt in PAE/uur?
3. Wat is het aantal geregistreerde verkeersongevallen geweest op de A7 in 2012? (de lengte van de weg is 242 km lang, de data komt uit SWOV met materiële-schade)
4. Wat is het aantal geregistreerde secundaire verkeersongevallen geweest op de A7 in 2012?
5. Wat is de gemiddelde trajectsnelheid die is gemeten op de A1 in 2009 op het traject Bussum-Muiderberg tussen 10 uur en 15 uur, waarbij een snelheid van 120 km/uur is toegestaan?
6. In de ochtendspits op de A20 wordt op het traject Vlaardingen-West naar Klein Polderplein gemiddeld 95.6 km/uur gereden (incl. vracht). Er gaat een snelheidsdeken aan van 90 km/uur, wat wordt dan de gemiddelde snelheid?
7. In de ochtendspits op de A20 wordt op het traject Vlaardingen-West naar Klein Polderplein, gemiddeld genomen 95.6 km/uur gereden (incl. vracht). Er gaat een snelheidsdeken aan van 70 km/uur, wat wordt dan de gemiddelde snelheid?



Interpretatie figuur

“[” staan voor de ondergrens van de range namelijk het 5%-kwantiel, “]” staat voor het 95%-kwantiel en “*” staat voor de mediaan. De balk onder elke vraag ‘de real’ geeft het referentie antwoord “#” weer waar de experts naar werden gevraagd. De observaties uit figuur 11 voor expert 2 zijn de volgende:

- De expert heeft voor de vragen 1 tot en met 4 een smaller interval gekozen in vergelijking met de vragen 5 tot en met 7. Dit betekent dat de expert zekerder is van zijn antwoorden op de vragen 1 tot en met 4.
- De tweede observatie met betrekking tot de spreiding van zijn antwoorden is dat de expert vermoedt dat de kans dat de door hem aangegeven waarde bij de vragen 1 en 2 hoger ligt aannemelijker is dan dat die waarde lager zou zijn. Voor de vragen 4 tot en met 7 geldt het omgekeerde. De expert verwacht hierbij dat de kans dat zijn kalibratie te hoog is ingeschat groter is dan te laag.
- De experts is zeer zeker van zijn antwoord op vraag 3. Zijn gegeven antwoord komt overeen met het antwoord van “de real”.
- Daarnaast scoort de expert op de kalibratie score “overeenkomst van zijn antwoord “*” op het antwoord van “de real (*)” minder sterk, maar zijn informatiescore zal hoger zijn omdat zijn 5%- en 95% kwantiel overlap heeft met “de real”.
- Een derde observatie is dat de expert voor de vragen die buiten zijn 5% en 95% kwantiel ranges vallen de waarde onderschat. De werkelijke waarde “de real” ligt vaak hoger.

De score per expert_(e) is de resultante uit de besproken kalibratie- en informatiescores, waarbij de volgende functie geldt:

$$w_{\alpha}(e) = Ind_{\alpha}(C_{(e)}) \times C_{(e)} \times I_{(e)} \quad (2)$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} Ind_{\alpha}(x) &= \alpha \text{ is } 0 \text{ als } X < \alpha \text{ en anders } \alpha \text{ i } 1 \\ C_{(e)} &= \text{Calibratie score expert}_e \\ I_{(e)} &= \text{Informatie score expert}_e \end{aligned}$$

De Ind_{α} score wordt alleen meegenomen voor die experts die hoger scoren dan (het vooraf ingestelde) significantie level $p = 0,02$, zie tabel 8 kolom 2. De overall score van de experts op de seed variabelen is in tabel 9 te zien, kolom 3. Hoe relaties gelezen dienen te worden tussen de kalibratie score en de informatie score is uiteengezet in bijlage 7. Ter illustratie zijn de volgende relaties met de score van expert 2 uit figuur 14 en tabel 9 te leggen:

- Expert 2 scoort matig op kalibratie, zie kolom 1.
- Expert 2 scoort als op één na laagste op de informatiescore, zie kolom 4. Dit komt omdat hij voor sommige vragen juist een te nauwe verdeling heeft genomen en net geen overlap vindt met de “real”. Echter met de antwoorden die wel overlap hebben met de “real” is te zien dat de 5% en 95% kwantilen over een brede range zijn genomen, waardoor de informatiescore automatisch lager is.

Tabel 9. Resultaten van 9 experts op seed variabelen

Resultaten van de experts				
Nr. Expert	Calibratie score	Gem. relatieve score (totaal)	Gem. relatieve score	Product un-normalized gewicht
1	6,52E-05	1,318	2,198	
2	0,0002489	1,762	1,343	
3	7,88E-06	1,554	1,64	
4	0,0007071	1,798	1,76	
5	0,219	1,534	1,48	0,3242
6	0,02005	1,301	2,785	0,05584
8	0,0124	1,852	2,234	
9	0,0004303	1,715	1,066	
DecisionMaker 1	0,423	0,8259	1,211	0,5741

Er zijn 8 experts (1^e kolom nr. 1 t/m 8) meegenomen voor vervolgonderzoek (zie tabel 9), omdat twee experts de enquête niet hebben voltooid, terwijl nummer 9 de virtuele expert DecisionMaker 1 is (hierna: Dmaker 1). Op basis van de gegeven antwoorden per expert is er een kalibratie- en informatiescore gegeven. De “DMaker 1” is een dummy expert die voortkomt uit de kwaliteit van de antwoorden van de experts. De kansdichtheidsfunctie van de “Dmaker1” is bepaald op basis van het “globale gewicht besluitvormer”, waarbij de gemiddelde informatiewaarde over de kalibratievariabelen is toegepast. De gewichtsscore die worden meegenomen voor verdere analyse zijn de scores van experts 5, 6 en de “Dmaker1” (kolom 5, tabel 9)

Kortom, er is gebruik gemaakt van een set aan gewichten die gelijk is bij de beoordeling van de verschillende variabelen. Dit in tegenstelling tot de andere performance besluitvormer “item gewicht besluitvormer” waarbij voor elke vraag afzonderlijk een gewicht is bepaald in plaats van een gemiddelde informatie score voor alle gewichten zoals bij “globale gewicht besluitvormer” (meer uitleg is te vinden in bijlage 7).

Binnen dit onderzoek verschilden de “item”- en “globale” besluitvormer gewichten niet significant. Daarom wordt de naam van de “DMaker 1” overkoepelend gemaakt naar

“performance gerelateerde besluitvormer” en deze kent gewichten toe per expert, op basis van vergelijking (1) en door een optimalisatie “Dmaker 1” te genereren.

Voor $\text{expert}_{(e)}$ is hetzelfde gewicht toegekend voor elke target variabele. De performance gerelateerde besluitvormers dichtheidsfunctie die hierbij hoort is (2):

(3)

$$\int G_{DM,i} = \frac{\sum_{j=1 \dots E} G_j a_{j,i}}{\sum_{j=1 \dots E} G_j}$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} G_{DM,i} &= \text{'Globale' Gewicht verdeler} \\ G_j &= \text{Gewicht} \\ i &= \text{Variabelen} \\ E &= \text{Expertnummer} \end{aligned}$$

Uit tabel 9 is op te maken dat er veel experts een gewichtstoedeling 0 (kolom 5, blanco) hebben gekregen. De resultaten van de experts met een kalibratie score lager dan 0,020 (p-waarde) dragen niet bij aan het gewenste betrouwbaarheidsniveau en worden daarom niet meegenomen. Dit komt doordat de experts met de hoogste performanscore zijn meegerekend en bijdragen aan de “Dmaker 1”. De rol van de kalibratiescore is hierbij dominant en resulteert in een gewogen “Dmaker 1” waarbij het gewicht van deze “virtuele expert” is voortgekomen uit een lineaire pooling van de experts die hoog scoren op kalibratie.

Tabel 9 (zie bijlage 7 voor de volledige resultaten) geeft aan dat er twee experts (expert 5 en expert 6) zijn die hoog scoren op de kalibratiewaarde. Het verschil tussen de kalibratiescore en de informatiescore is relatief hoog. Er blijkt een grote diversiteit tussen de experts met betrekking tot het toekennen van een informatiescore.

Na analyse van de resultaten per seed variabele is aan de hand van een robuustheidanalyse geconcludeerd dat vraag 5 uit de analyse moet worden verwijderd. Door uitsluiting van seed variabele 5 zijn de kalibratiescores gelijk geworden voor de diverse seed variabelen, hetgeen duidt op een juiste “proper scoring rule”, zie tabel 10.

Tabel 10. Resultaten robuustheidsanalyse seed variabelen

Robuustheidsanalyse	
Seed variabele	Calibratie
S1	0,5841
S2	0,5841
S3	0,5841
S4	0,5841
S5	0,2432
S6	0,5841
S7	0,5841

Robuustheidsanalyse	
Seed variabele	Calibratie
S1	0,3946
S2	0,3946
S3	0,3946
S4	0,3946
S6	0,3946
S7	0,3946

Op basis van de robuustheidstudie en de lage kalibratiescore van expert 1 en 3 is besloten deze experts niet mee te nemen in het vervolgonderzoek, zoals aangegeven bij de resultaten in tabel 11. Door het elimineren van de twee experts is de definitieve gewichtsverdeling bepaald voor de experts en de “virtuele expert” (Dmaker1).

Tabel 11 geeft het eindresultaat weer van de beoordeling van de experts. De “Dmaker2” is in tabel 11 de performance based regel gebaseerd op een gewogen gemiddelde. Hierbij is te zien dat een gelijke kalibratiescore wordt verkregen, maar een lagere informatiescore. Dit geeft aan dat de antwoorden van de experts op de seed variabelen erg verschillend zijn en dit is weerspiegeld in de onzekerheid die bestaat over de parameters. Daarom heeft “Dmaker2” een lagere relatieve score. Andere observaties op basis van tabel 11 zijn:

- De performance based “DMaker1” scoort het beste met betrekking tot het informatiegehalte (gem. relatieve score);
- Expert 5 scoort het hoogst van alle experts op kalibratie;
- Expert 5 en 6 zijn de enige experts met een kalibratiescore hoger dan het significantie niveau p-waarde boven 5%;
- Een kalibratiescore lager dan 0,02 wordt niet meegenomen en deze krijgen een gewicht van 0 toegedeeld;
- Kolom 3 beoordeelt de gemiddelde score van de expert op zowel kalibratie als informatie. Hierin is te zien dat expert 9 het laagste scoort.
- Kolom 4 geeft alleen de 7 seed variabelen weer, waarbij te zien is dat expert 5 laag scoort op de informatiescore in vergelijking met zijn kalibratiescore. Opvallend zijn de twee hoge informatiescores van expert 6 en 8. Waarbij expert 6 als hoogste scoort op informatie en als tweede scoort op kalibratie.
- Ondanks de hoge informatiescore van expert 8 wordt hij toch niet meegenomen in de gewichtsscore en krijgt een waarde 0 toebedeeld doordat hij onder het significantieniveau scoort van een p-waarde 5%.

Tabel 11. Eindresultaat beoordeling experts na eliminatie expert 1 en 3

Resultaten van de experts				
Nr. Expert	Calibratie score	Gem. relatieve score (totaal)	Gemiddelde relatieve score	Product un-normalized weight
1	6,52E-05	1,318	2,198	
2	0,0002489	1,618	1,125	
3	7,88E-06	1,554	1,64	
4	0,0007071	1,655	1,531	
5	0,219	1,39	1,252	0,2741
6	0,02005	1,167	2,564	0,05139
8	0,0124	1,709	2,02	
9	0,0004303	1,574	0,8471	
DecisionMaker 1	0,423	0,6939	0,9976	0,422
DecisionMaker 2	0,423	0,2452	0,3075	0,1301

4.2.2. Onzekerheden en spreiding

Het tweede gedeelte van het interview, zoals eerder is beschreven, bestaat uit 43 vragen waarbij het accuraat en helder in kaart brengen van de onzekerheid centraal staat. De uitdaging is te observeren waar onzekerheden klein zijn en waar mogelijk meer onderzoek verricht moet worden om een bijdrage te leveren aan de gehele effectstudie van dit onderzoek.

Door alle antwoorden van de experts in grafieken weer te geven, zie bijlage 7, zijn de onzekerheden van effecten inzichtelijk gemaakt. Wanneer de range van antwoorden op vragen ver uit elkaar ligt, dan duidt dit erop dat experts het antwoord van andere experts onwaarschijnlijk vinden. Uit de analyse van deze ranges kan een aantal zaken worden opgemaakt:

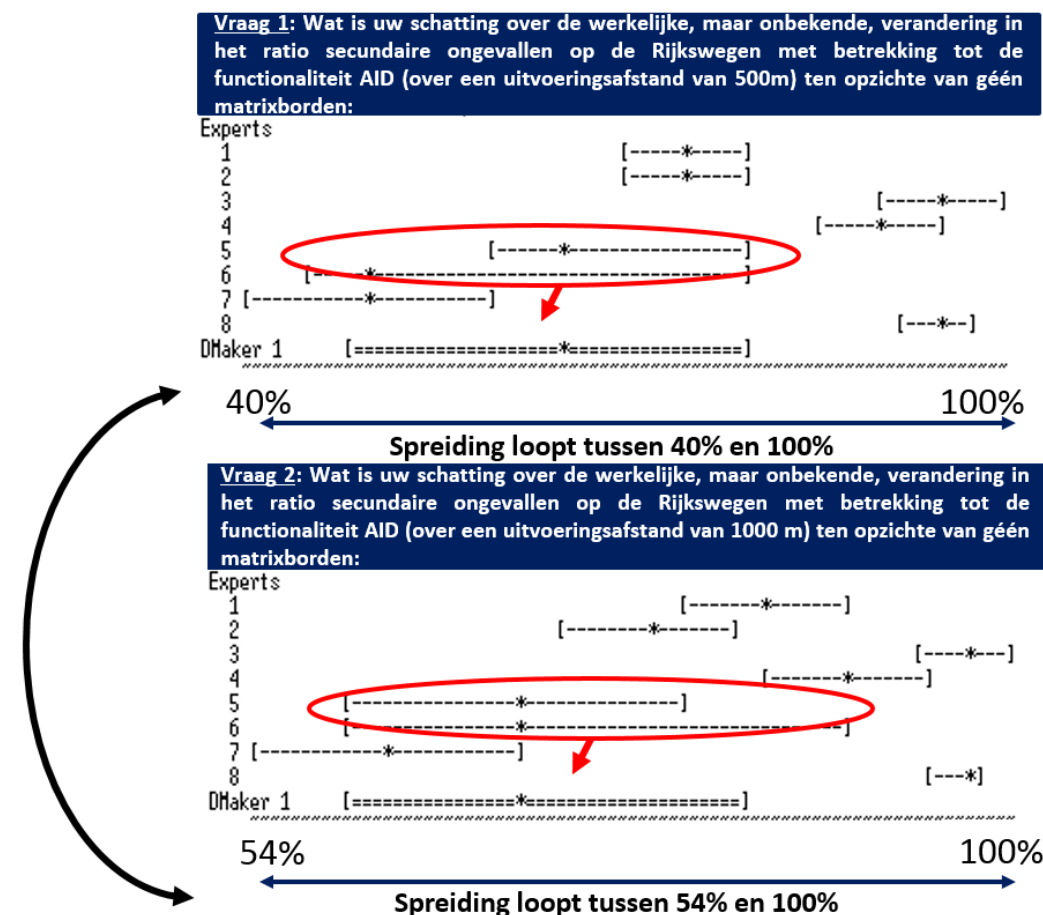
- Hoe experts effecten van gedifferentieerd beleid interpreteren en beoordelen;
- De individuele bijdrage van elke functionaliteit van een matrixbord;
- De diversiteit aan verwachtingspatronen van het effect van matrixborden;
- Negatieve effecten;
- De zekerheid waarmee experts hun eigen antwoord beoordelen.

In figuur 15 zijn deze bevindingen te zien voor de functionaliteit AID voor de uitvoeringsmaatregel 500m en 1000m, waarbij naar een effect is gevraagd ten opzichte van het nul-scenario voor de parameter secundaire ongevallen. Deze twee grafieken geven aan dat de intervallen uiteenlopen van een minimumwaarde (0,4) naar een maximum (1). De waardes dienen geïnterpreteerd te worden als factoren, waarbij de waarden onder 1 duiden op een afname van het aantal secundaire ongevallen bij de behorende functionaliteit en uitvoeringsmaatregel. De 8 experts (inclusief de expert die wel deze seed variabele had beoordeeld -zie figuur 15 (nr 1 t/m 8) geven indirect aan het niet eens te zijn met de antwoorden van de andere experts, omdat dezelfde vraag 8 keer anders beoordeeld en ingeschat is door experts:

- 1) Het spreidingsinterval van vraag 1 [40;100]% is groter dan vraag 2 [54;100]%.
 - 2) De antwoorden van de experts op vraag 2 zijn meer verspreid dan de antwoorden op vraag 2. Dit tonen de 'realisaties' (* mediaan) aan, die zeer verspreid liggen in het interval van vraag 2 [54;100]%.

Tevens toont figuur 15 de onzekerheid en de spreiding aan die ook uit literatuuronderzoek is gebleken (hoofdstuk 3). Ondanks dat de antwoorden van de experts zeer verspreid zijn, geven de experts wel aan dat de functionaliteit AID een positieve bijdrage heeft op de verkeersveiligheid, waarbij de effecten van AID op veiligheid voor de tussenafstanden 500m en 1000m minder positief zijn. De ratio waarmee de effecten afnemen varieert voor de verschillende schattingen van de experts, waarbij de ranges voor 500m uiteenlopen tussen het interval $[0,4 ; 1]$ ten opzichte van de nul-situatie, terwijl bij de 1000m dit interval $[0,54;1]$ is. Anderzijds is te zien dat de waarde voor de “virtuele expert”, DMaker 1, voortkomt uit de waarde van expert 5 en expert 6. Het interval, dus de onzekerheid van de waarde van de “virtuele expert”, DMaker 1, is hiervoor echter ook nog zeer breed, maar komt wel overeen met een gewogen score van de meest relevante experts (5 en 6). Tot slot kan geconcludeerd worden uit figuur 15 dat de onzekerheid over de effecten van AID over een uitvoeringsmaatregel van 1000m groter is dan bij een uitvoeringsmaatregel van 500m.

Figuur 15. Resultaatoverzicht per vraag door elke expert



Op dezelfde wijze zijn ook de overige resultaten bekeken en geëvalueerd, zie bijlage 7. Tot slot zijn de resultaten voor de verschillende target variabelen beoordeeld en worden ze meegenomen op basis van de gewichtsscore die de experts hebben gekregen bij de beoordeling van de seed variabelen. Daarbij zijn de onzekerheden ten opzichte van de verschillende experts en de “Dmaker1” beoordeeld en resulteren deze in de onzekerheidsverdelingen die te vinden zijn in bijlage 7. Deze waarde en verdelingsfuncties

zijn voor de verschillende afstanden en functionaliteiten grafisch in kaart gebracht en worden in de volgende paragraaf uiteengezet.

4.3 Resultaten Expert Elicitation

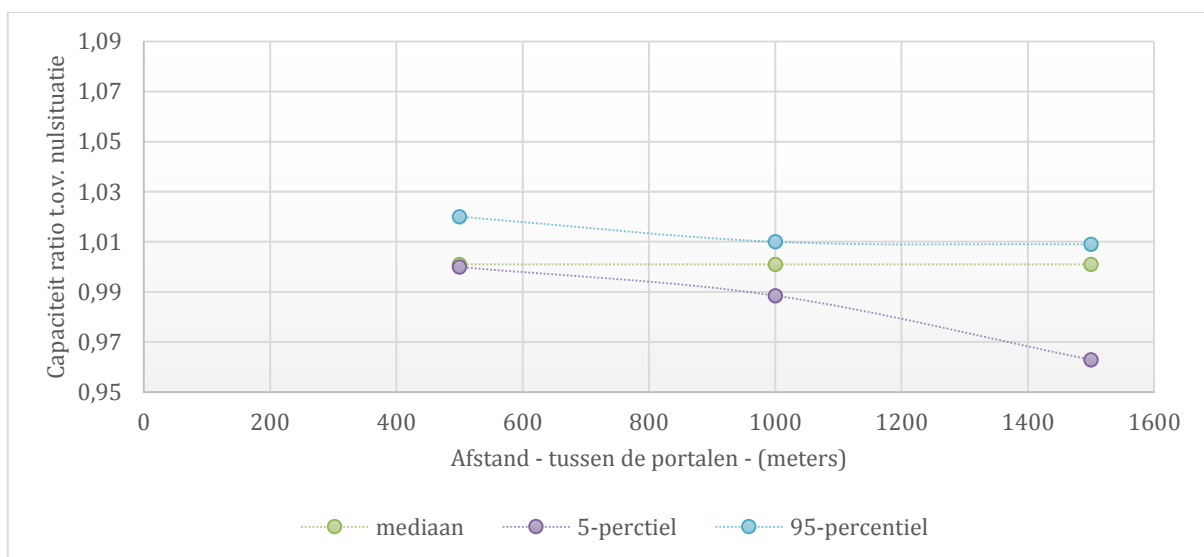
Hieronder wordt voor elk van de drie variabelen de resultaten van de drie functionaliteiten - homogeniseren, AID en kruis-pijl - beschreven.

4.3.1. Resultaten capaciteit

Functionaliteit: Homogeniseren

- Mediaan: de functionaliteit homogeniseren heeft een nihil effect op de capaciteit
- De kans dat homogeniseren over een portaalafstand van 500m een positieve bijdrage levert op de capaciteit is aanzienlijker dan een afname. Dit komt voort uit de afstand tussen de lijn van het 95^e-percentiel en de mediaan voor 500m.
- Naarmate de afstand groter wordt, neemt voor de schatting van het 5^e en 95^e percentiel de waarde af. Waarbij de verdeling “normaal verdeeld” is voor de tussenafstand van 1000m.
- Wanneer de tussenafstand van de portalen toeneemt naar 1500m is te zien dat de kans groter is dat de bijdrage van de mediaan afwijkt naar een negatieve bijdrage ten opzichte van de capaciteit. De capaciteit zou dan met 4% kunnen afnemen.

Figuur 16. Verandering in capaciteit per portaalafstand – Homogeniseren



Functionaliteit: AID

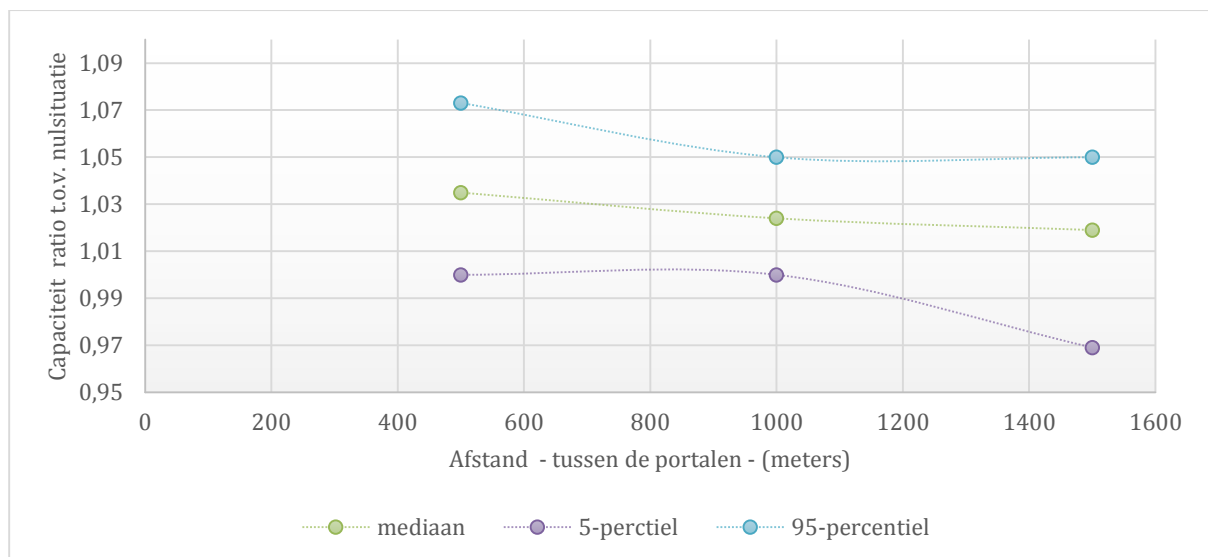
- Mediaan: De functionaliteit AID draagt 2,4% bij aan de capaciteit van de autosnelweg, blijkt uit de onzekerheidsanalyse.
- De kans dat AID over een portaalafstand van 500m een bijdrage levert op de capaciteit is groot en dit effect is normaal-verdeeld. Daarbij is de kans dat AID 0% of 7,3% bijdraagt aan de capaciteit, zoals blijkt uit het 5^e en het 95^e percentiel.
- Naarmate de afstand tussen de portalen toeneemt, neemt het effect van AID op de capaciteit voor de mediaan met 1,1% af. Voor het 5^e percentiel is dit gelijk en voor het 95^e percentiel is dit een afname van 2,3%. De bijdrage van AID op de capaciteit

voor een portaal afstand van 1000m ten opzicht van de nul-situatie (geen matrixsignaalgevers) bedraagt voor de mediaan 2,4%. De waarde behorende bij het 95^e percentiel is 5%.

- Wanneer de tussenafstand van de portalen toeneemt naar 1500m is te zien dat het effect van AID minder afneemt ten opzichte van de waarde van 1000m. Er bestaat echter ook een mogelijkheid bestaan dat AID een negatief effect kan hebben op de capaciteit.

Kortom, op basis van de onzekerheidsanalyse voor de functionaliteit AID en homogeniseren kan geconcludeerd worden dat effecten op capaciteit lager zijn dan uit literatuurstudies is gebleken. Naarmate de afstand tussen de portalen toeneemt, zal de capaciteit gelijk blijven of enigszins afnemen. De afname wordt geschat op basis van de mediaan voor de AID op 1,1%. Het vergroten van de portaalafstand voor de functionaliteit homogeniseren zal weinig verandering hebben op het effect van homogeniseren. Hoewel de kans dat homogeniseren een nadelig effect heeft op de capaciteit zal toenemen, hetgeen blijkt uit de onzekerheidsrange.

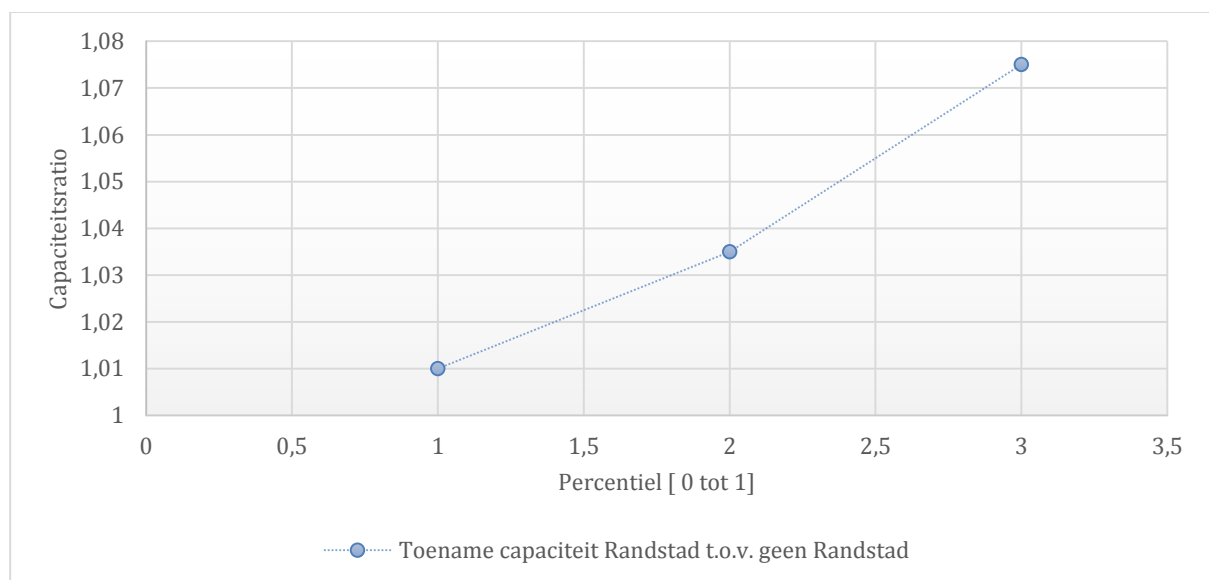
Figuur 17. Verandering in capaciteit per portaalafstand – AID



Uit eerdere interviews en kennismakingsgesprekken met verkeerskundigen en personen uit het werkveld bleek de effectiviteit van locaties van matrixborden niet alleen af te hangen van de fileproblematiek, aangezien gewenning van de automobilisten ook een rol speelt. Daarom is onderzocht of de effectiviteit van matrixborden op de capaciteit verschilt tussen de Randstad en het buitengebied, zie figuur 18. Opmerkelijk is dat zowel expert 5 en 6 hierbij een verschillende inschatting geven van het effect, terwijl er ook experts zijn die verwachten dat het effect nihil is. Het verschil in effectiviteit van matrixborden kan te verklaren zijn uit een aantal factoren die verder onderzocht dienen te worden. De volgende factoren zijn uit de literatuurstudie en interviews naar voren gekomen:

- Matrixborden in de Randstad zijn effectiever omdat automobilisten onder een hogere verkeersdichtheid een hogere snelheid hanteren. Dit zou overeenkomen met het onderzoek van Hegyi (2005), beschreven in hoofdstuk 3.
- In het buitengebied is het volgggedrag van de automobilist minder gehoorzaam, waardoor het opvolgggedrag lager is en er een minder homogeen beeld ontstaat van de verkeersstroom op de weg.

Figuur 18. Verandering van het effect van matrixborden Randstad – Buitengebied



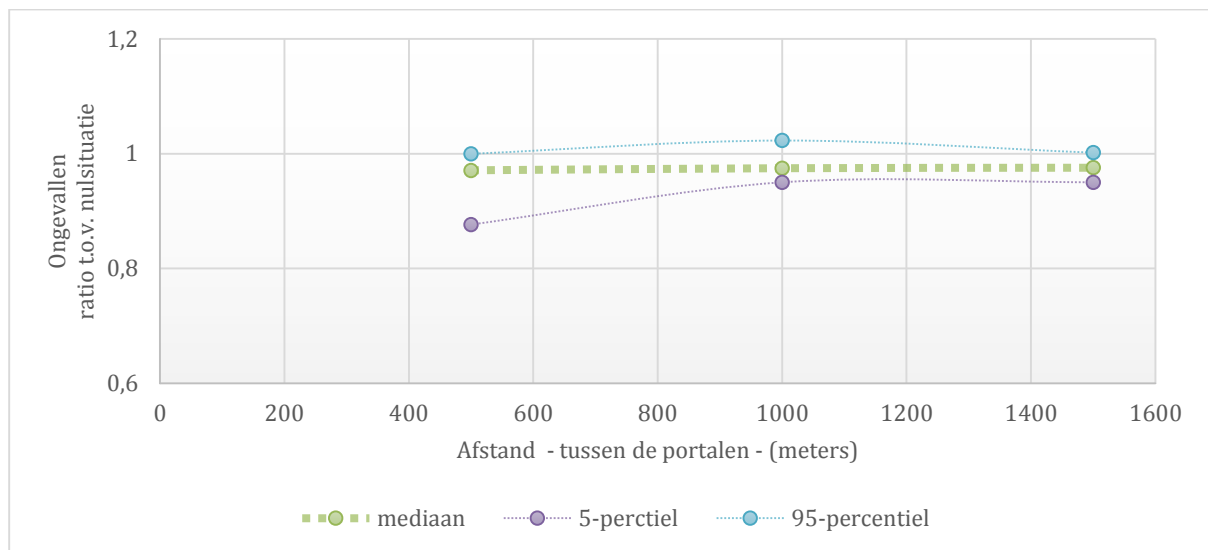
4.3.2. Resultaten verkeersongevallen

Functionaliteit: Homogeniseren

- De functionaliteit homogeniseren blijkt op basis van de onzekerheidsanalyse een kleine positieve bijdrage te hebben op verkeersveiligheid. De resultaten zijn in figuur 19 weergegeven. De grijze laan is de mediaan, waarbij de grijze bolletjes een ratio van 0,97 aangeven. Dit duidt op een 3% afname in het totaal aantal ongevallen. Daarbij is de kans groot dat homogeniseren op een afstand van 500m een hogere bijdrage heeft dan 3% (zie figuur 16 waarbij het 95^e percentiel interval verder afwijkt dan het 5^e percentiel ten opzichte van de mediaan). Het bereik van de grenswaarde, het 5^e en 95^e percentiel voor de 500 m, wordt geschat op [0;12%] vermindering van het totaal aantal ongevallen.

- Naarmate de afstand tussen de portalen groter wordt blijkt dit effect op basis van de mediaan constant te blijven (13%). Echter een vergroting van de tussenafstand zou kunnen leiden tot een kleine negatieve of een positieve bijdrage, zoals gevisualiseerd in figuur 19. Daarbij wordt de effectiviteit van homogeniseren lichtelijk positief bevonden wanneer de afstand tussen de portalen 1500m wordt.

Figuur 19. Verandering in het totaal aantal ongevallen per portaalf afstand – Homogeniseren



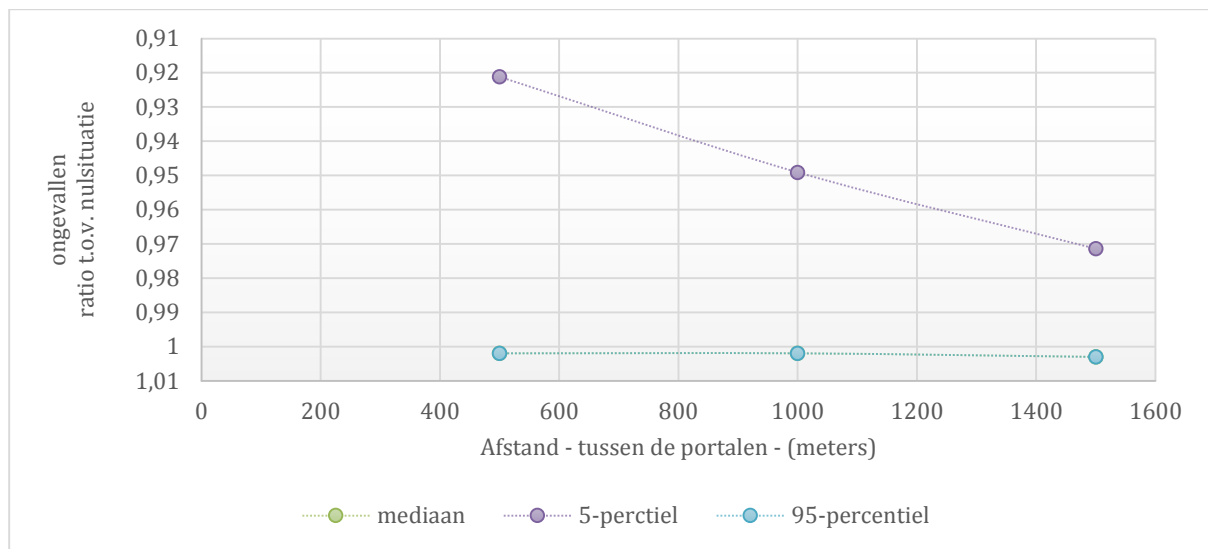
Functionaliteit: AID

Op basis van de resultaten uit de expertanalyse wordt de effectiviteit van de AID functionaliteit positief bevonden, waarbij differentiatie naar afstand veranderingen teweeg brengt in de effectiviteit van de maatregel op de verkeersveiligheid.

- De verandering op verkeersveiligheid gedifferentieerd naar de uitvoeringsmaatregel; 500m leidt tot een positief effect van een 17% reductie van het totaal aantal verkeersongevallen ten opzichte van het nul-alternatief.
- Wanneer er gedifferentieerd naar afstand wordt, waarbij de afstand tussen portalen 1000m is, blijft het effect op verkeersongevallen wederom positief. Echter het effect zal hierbij 2% lager zijn t.o.v. de uitvoeringsmaatregel van 500 m, namelijk een vermindering van 15% in het totaal aantal ongevallen.
- Bij een differentiatie naar 1500m afstand tussen de portalen, blijkt het effect ‘slechts’ een afname van het totaal aantal ongevallen met 10% te zijn ten opzichte van de nul-situatie. Hierbij dient in acht te worden genomen dat de werking van het verkeersalgoritme afneemt naarmate de afstand tussen de portalen groter wordt, waardoor de kans op een negatief effect op de verkeersveiligheid toeneemt.

Kortom, het effect van de werking van AID op het totaal aantal verkeersongevallen is zeer positief, waarbij het verschil tussen de effectiviteit van een portaalf afstand van 500m en 1000m opvallend laag is.

Figuur 20. Verandering in het totaal aantal ongevallen per portaalafstand – AID

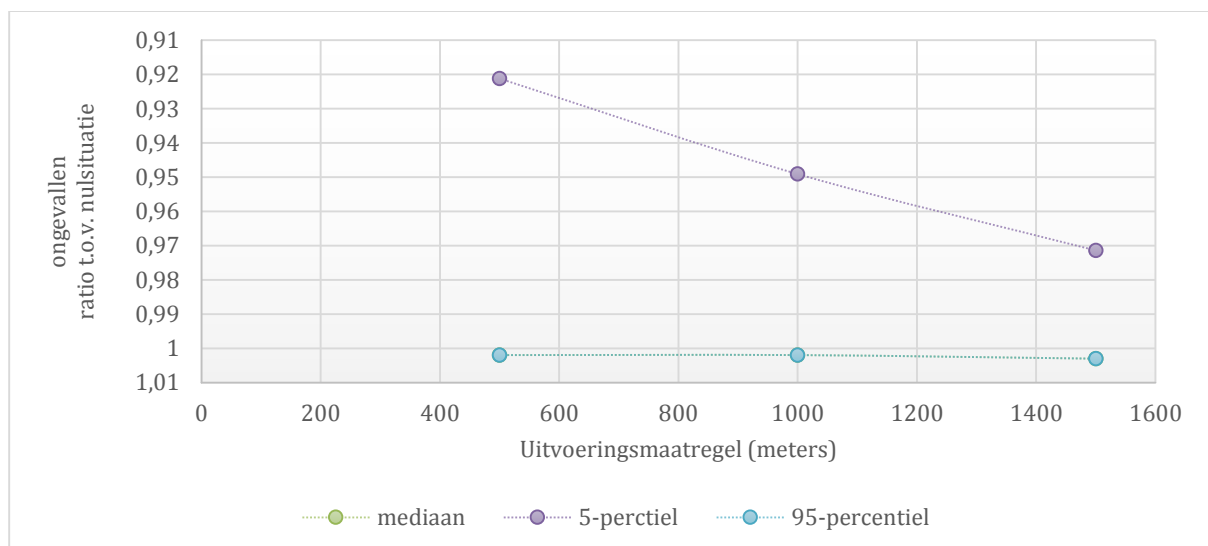


Resultaten secundaire verkeersongevallen

Functionaliteit: Homogeniseren

De functionaliteit homogeniseren heeft weinig tot geen effect op het aantal secundaire verkeersongevallen zoals aangegeven in figuur 21. Differentiatie naar afstand voor de plaatsing van matrixsignaalgevers geeft een nihil verschil.

Figuur 21. Verandering in het secundaire ongevallen gedifferentieerd naar portaal afstand – Homogeniseren



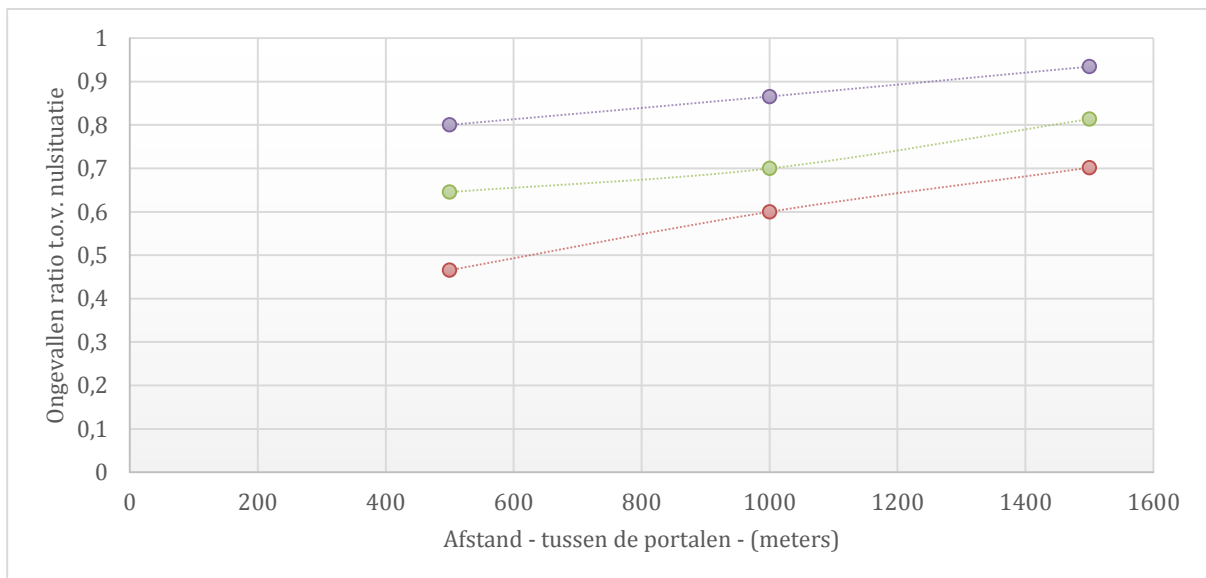
Functionaliteit: AID

De functionaliteit AID heeft een positief effect op de vermindering van het aantal secundaire ongevallen. Naarmate de afstand tussen de portalen groter wordt, neemt het effect af namelijk van respectievelijk 37% bij 500m, tot 30% bij 100m en 19% bij 1500m

- Ten opzichte van de mediaan wordt de kans dat de effectiviteit van AID hoger is kleiner. Dit duidt op een mogelijke overschatting van de gevonden mediaanwaarde.
- Uit figuur 22 is af te lezen dat het effect min of meer lineair afneemt ten opzichte van het effect op het aantal secundaire ongevallen voor de uitvoeringsmaatregelen van 500m.

Hieruit blijkt dat de werking van AID een positief effect heeft op het aantal secundaire verkeersongevallen. De effectiviteit van de AID vermindert naarmate de portaalafstand groter wordt. Dit is een interessante bevinding wanneer het aandeel van secundaire verkeersongevallen op de totale verkeersongevallen groot is. In dit onderzoek is er vanuit gegaan dat 42% van het totale aantal verkeersongevallen secundaire verkeersongevallen betreft. Verder onderzoek moet uitsluitsel geven of een procentueel verschil van 7% een wezenlijk verschil geeft in de reductie van de secundaire verkeersongevallen bij een wijziging in portaalafstand van 500m naar 1000m.

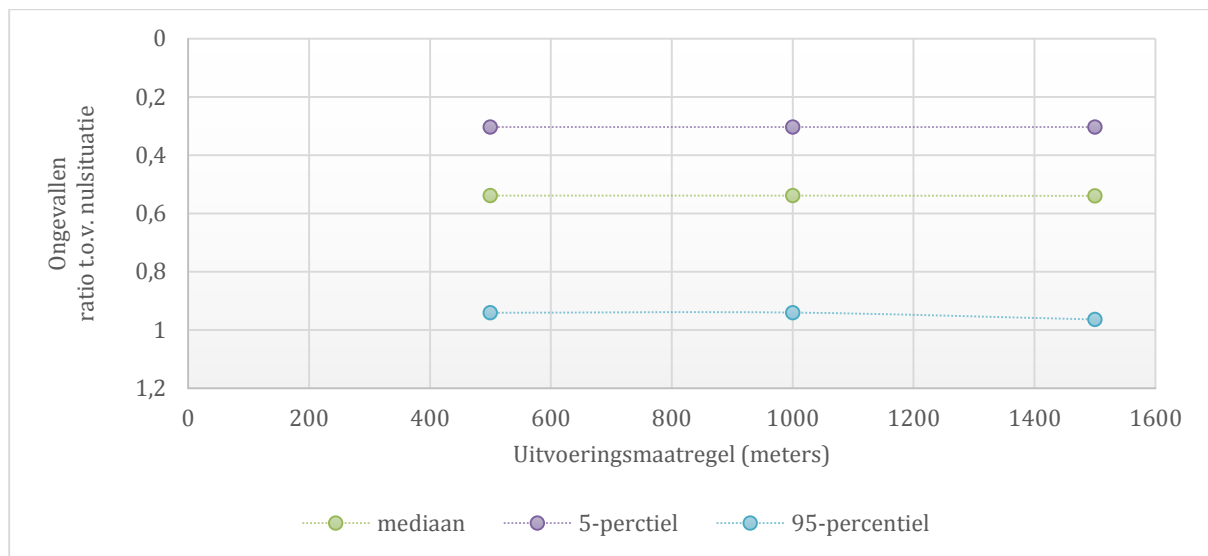
Figuur 22. Verandering in het secundaire ongevallen gedifferentieerd naar portaal afstand - AID



Functionaliteit: Kruis-pijl

De kruis-pijl heeft een positief effect op het aantal secundaire verkeersongelukken. Uit figuur 23 blijkt dat naarmate de afstand tussen de portalen groter wordt, het effect van de kruis-pijl op secundaire verkeersongevallen constant blijft. Waarbij de mediaan een waarde heeft van 0,53. Dit betekent dat het aantal secundaire verkeersongevallen dat plaatsvindt op rijkswegen nadat er een ander verkeersongeval heeft plaatsgevonden verminderd wordt met 53% bij de toepassing van de kruis-pijl maatregel in vergelijking met de situatie zonder matrixborden waarbij de automobilist pas 500m stroomopwaarts van het ongeluk voor het eerst wordt gewaarschuwd.

Figuur 23. Verandering in het secundaire ongevallen per portaalafstand – Kruis-pijl



4.3.3. Resultaat (opvolg)gedrag van de automobilist

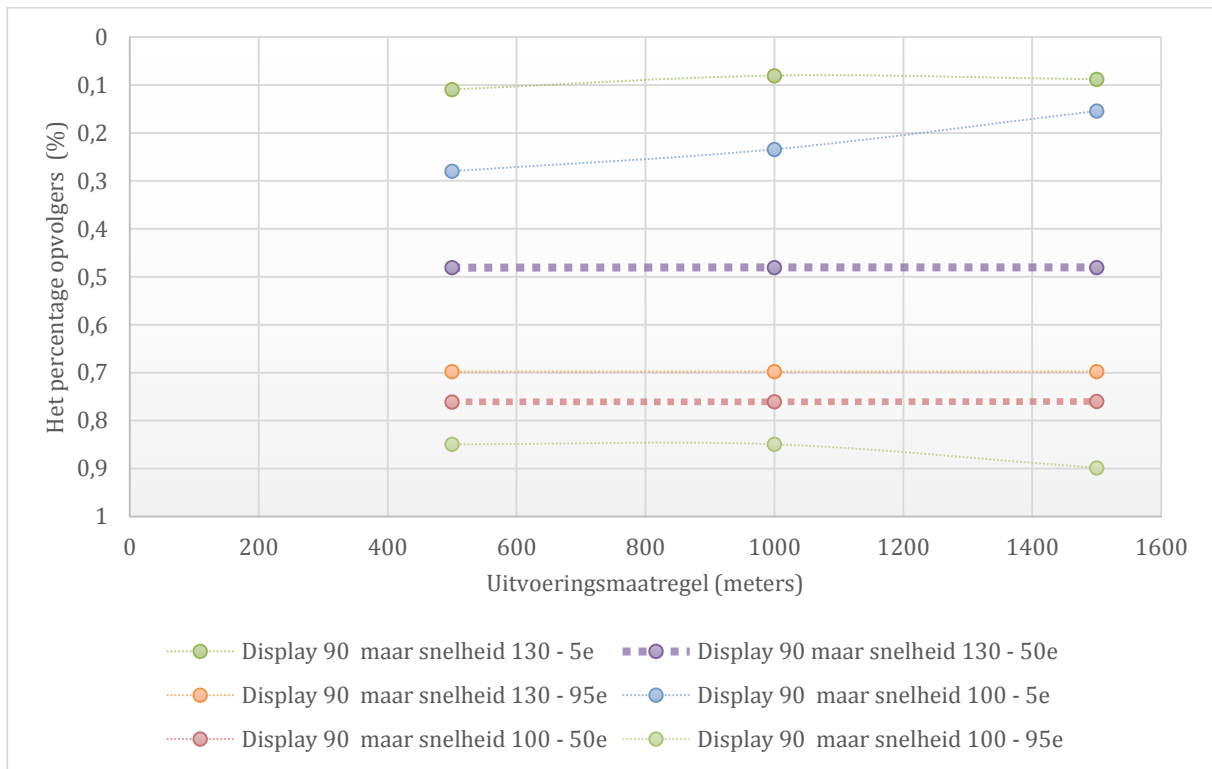
Op basis van figuur 24, 25 en 26 kunnen de volgende observaties worden gemaakt:

- Het opvolgerspercentage van het aantal automobilisten bij een snelheid van 130 km/uur op de rijkswegen en een displaysnelheid van 100 km/uur, figuur 26, is redelijk hoog (79%). Differentiatie naar afstand heeft vermoedelijk een minder groot effect dan geschat, hetgeen blijkt uit de 95^e-percentiel waarde in figuur 25.
- Het opvolgggedrag bij een lager snelheidsverschil, display 90 bij een toegestane snelheid van 100, is 1,5 keer zo groot ten opzichte van het opvolgggedrag van het display 90 km/uur bij een toegestane snelheid van 130 km/uur. Echter bij een displaysnelheid van 70 km/uur volgt zowel bij een toegestane snelheid van 100 km/uur en 130 km/uur 28% van de automobilisten de toegestane snelheid van 70 km/uur op.
- Een andere observatie is dat de kans op het opvolgggedrag groter is in vergelijking met de waarde van de mediaan. Dit blijkt uit de grote afstand tussen het 95^e percentiel en de mediaan in vergelijking tot het 5^e percentiel en de mediaan.

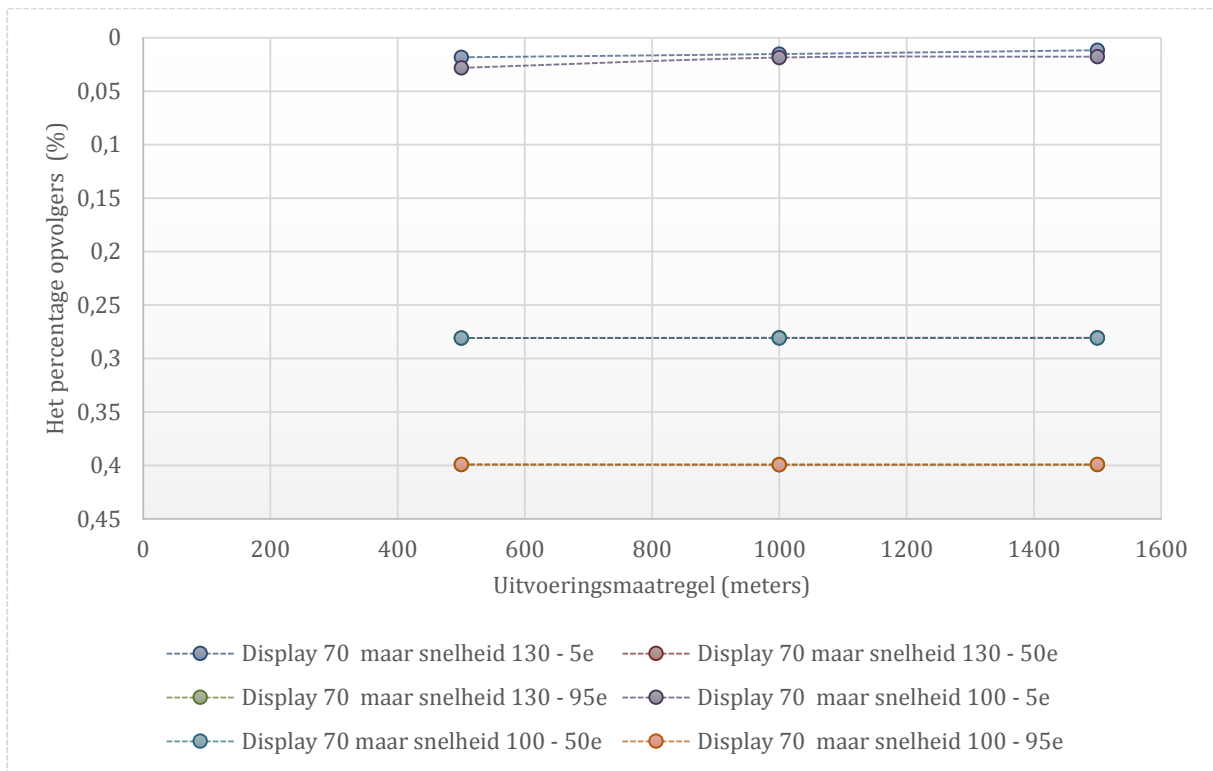
De belangrijkste bevinding is dat het (opvolg)gedrag van de maatregelen met betrekking tot het inperken van de rijnsnelheid bij een displaysnelheid van 90 km/uur en ontwerpsnelheid van 100 km/uur hoger is dan bij een ontwerpsnelheid van 130 km/uur toegestaan maximum. In figuur 24 is dit te zien aan de blauwe lijnen (90 km/uur). Dat het (opvolg)gedrag bij een snelheid van 90 km/uur weinig verschilt van de 100 km/uur is vrijwel vanzelfsprekend, aangezien de 100 km/uur en de 90 km/uur niet veel van elkaar verschillen. Desalniettemin wil dit niet betekenen dat bij een ontwerpsnelheid van 100 km/uur de automobilisten een hoger (opvolg)gedrag hebben. Dit blijkt uit de analyse van een displaysnelheid van 70 km/uur. Bij de 70 km/uur displaysnelheid maakt het niet of de maximumsnelheid 100 km/uur of 130 km/uur is. Het percentage opvolgers van de displaysnelheid bedraagt dan 28 %. Tevens blijkt uit analyse van de figuren dat de onzekerheid over het opvolgggedrag (bij 70 km/uur) van automobilisten groter is bij 100 km/uur dan bij een ontwerpsnelheid van 130 km/uur. Dit is te zien aan de spreiding van de 5^e, 50^e en 95^e percentielen.

Of met dit beoogde effect van 28% opvolgers en de onzekerheid over het aantal percentages opvolgers, de effectiviteit wordt bereikt die in de wetenschap wordt verwacht (bij de totstandkoming van de toename van capaciteit, zoals besproken in hoofdstuk 2) dient nader onderzocht te worden.

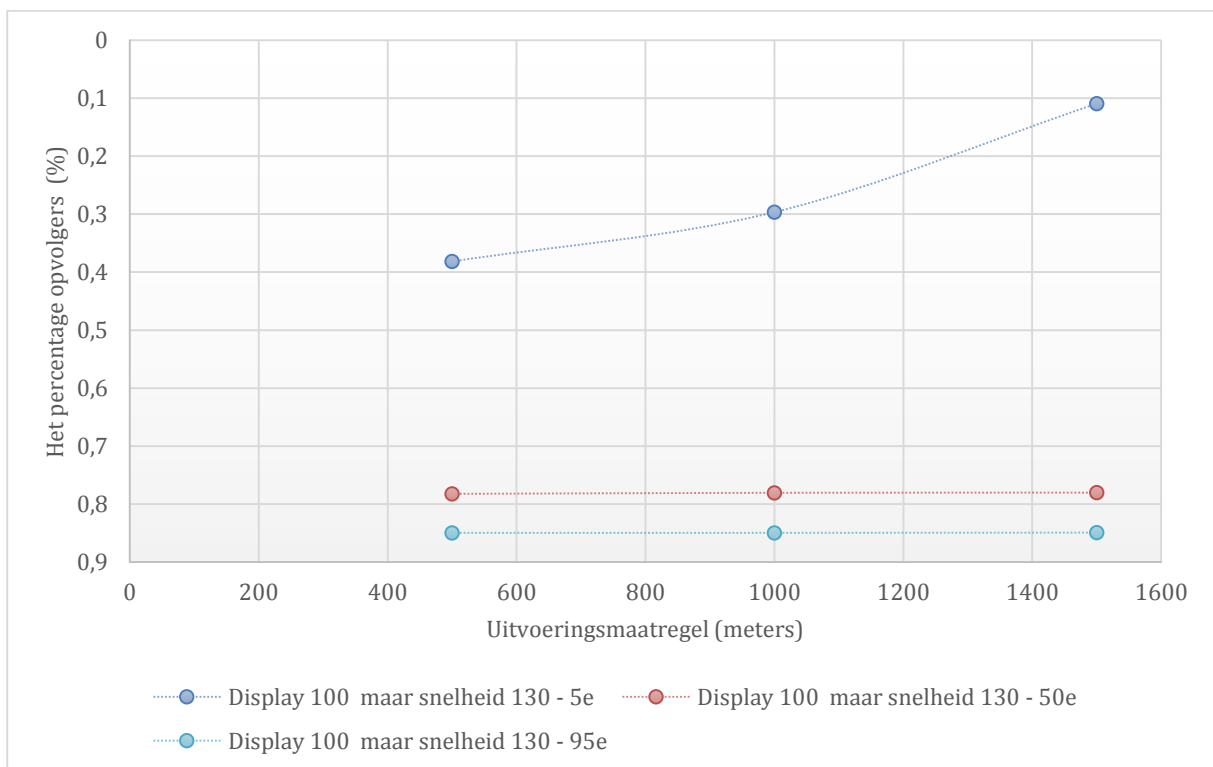
Figuur 24. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 90 (maximale snelheid 100 en 130 km/uur)



Figuur 25. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 70 (maximale snelheid 100 en 130 km/uur)



Figuur 26. Verandering in opvolgedrag bij displaysnelheid 100 (maximale snelheid 130 km/uur)



4.4 Tussentijdse conclusie

In dit hoofdstuk is de basis gelegd voor het beantwoorden van de volgende onderzoeksvragen op basis van de Expert Elicitation methode:

- Deelvraag: Waaruit bestaat de wisselwerking tussen kosten en baten van matrixsignaalgeversfuncties bij gedifferentieerde afstanden en wegcatégorisering?
- Hoofdvraag: Wat zijn de maatschappelijke baten van matrixborden met betrekking tot de netwerkprestaties van rijkswegen in Nederland?

In dit hoofdstuk wordt een eerste deel beantwoord van de deelvraag met betrekking tot de wisselwerking van baten bij gedifferentieerde afstanden en wegcatégorisering. “Het resultaat van de onzekerheidsanalyse maakt inzichtelijk wat effecten zijn van matrixborden en hoe de effecten van matrixborden veranderen onder gedifferentieerd beleid (500m, 1000, en 1500m). Tevens biedt dit de basis voor de beantwoording van de hoofdvraag en geeft dit transparant inzicht in de uiteenlopende effecten van matrixborden. Hiermee, wordt het beoogde doel van deze onzekerheidsanalyse behaald.

De in hoofdstuk 3 weergegeven effecten uit de literatuur blijken veelal hoger te zijn dan uit de onzekerheidsanalyse is gebleken. De tabellen 12, 13 en 14 zetten de gevonden resultaten uiteen met betrekking tot de prestatie-indicatoren bereikbaarheid en veiligheid. Het effect op de capaciteit wordt voor de functionaliteit AID geschat op een bijdrage van 3,5%. Wanneer er gedifferentieerd wordt naar afstand zou dit effect (ten opzichte van de nul-situatie) verminderen naar 2,4% bij een toename naar 1000m. Bij een verdere toename naar 1500m zou dit nog slechts 1,9% zijn. Het percentage opvolgers van de displaysnelheden wordt hoger naarmate de gegeven limietsnelheid op het display dichterbij de ontwerpsnelheid van de weg ligt. Daarnaast neemt het percentage opvolgers voor de 500m en 1000 m niet af wanneer gedifferentieerd wordt naar afstand. Voor de 1500 m bedraagt het verschil 5%.

Met betrekking tot veiligheid wordt vastgesteld dat AID het aantal verkeersongelukken kan reduceren met respectievelijk 17% (signalering om de 500m), 15% (1000m) en 10% (1500m).

De gedefinieerde effecten uit de onzekerheidsanalyse worden als inputwaarden gebruikt voor het ondersteunend beslismodel waarvan de opbouw in hoofdstuk 5 wordt gepresenteerd en de resultaten in hoofdstuk 6. Datzelfde geldt voor de gevoeligheidsanalyse die wordt uiteengezet in hoofdstuk 5, waarna in hoofdstuk 6 de resultaten volgen.

Tabel 12. Effecten van matrixborden op de capaciteit

Capaciteit	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	+3,5 %	[0;+7,5]%	+2,4%	[0; +5]%	+1,9%	[-3,1;+5]%
Homogeniseren	+0,1%	[-2,2;+1]%	+0,1%	[-3,8;+1]%	+0,1%	[-3,8;+0,9]%
Kruis-pijl	Niet van toepassing		Niet van toepassing		Niet van toepassing	

Tabel 13. Effecten van matrixborden op de totale verkeersongevallen

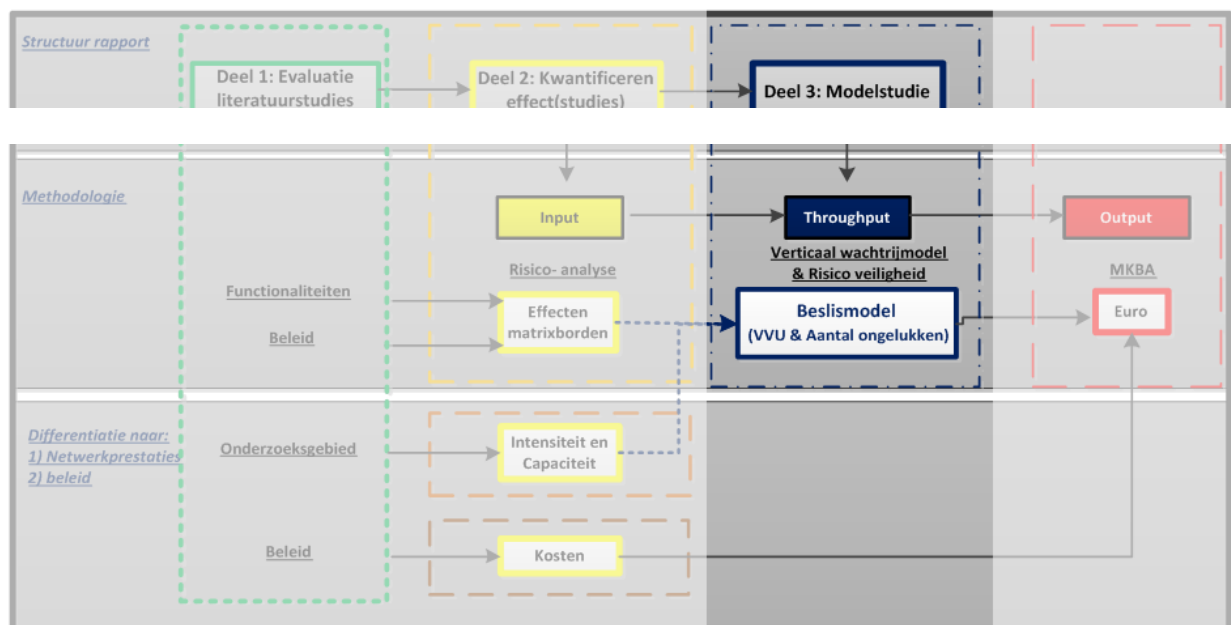
Totale verkeersongevallen	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	- 17%	[-31;-12]%	-15%	[-20;-3]%	-10%	[-15;+6,8]%
Homogeniseren	- 3%	[-13; 0]%	-2,6%	[-5;+0,2]%	-2,5%	[-5;+0,2]%
Kruis-pijl	Niet van toepassing		Niet van toepassing		Niet van toepassing	

Tabel 14. Effecten van matrixborden op de secundaire verkeersongevallen

Secundaire verkeersongevallen	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	- 36 %	[-47;-20]%	- 30%	[-40;-14]%	- 19%	[-30;-7]%
Homogeniseren	+ 0,1%	[-8; +0,2]%	+ 0,1%	[-6;+0,2]%	+ 0,1%	[-3;+0,3]%
Kruis-pijl	-46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-4]%

– “Throughput” –

Figuur 27. Overzicht deel 3 “Throughput”



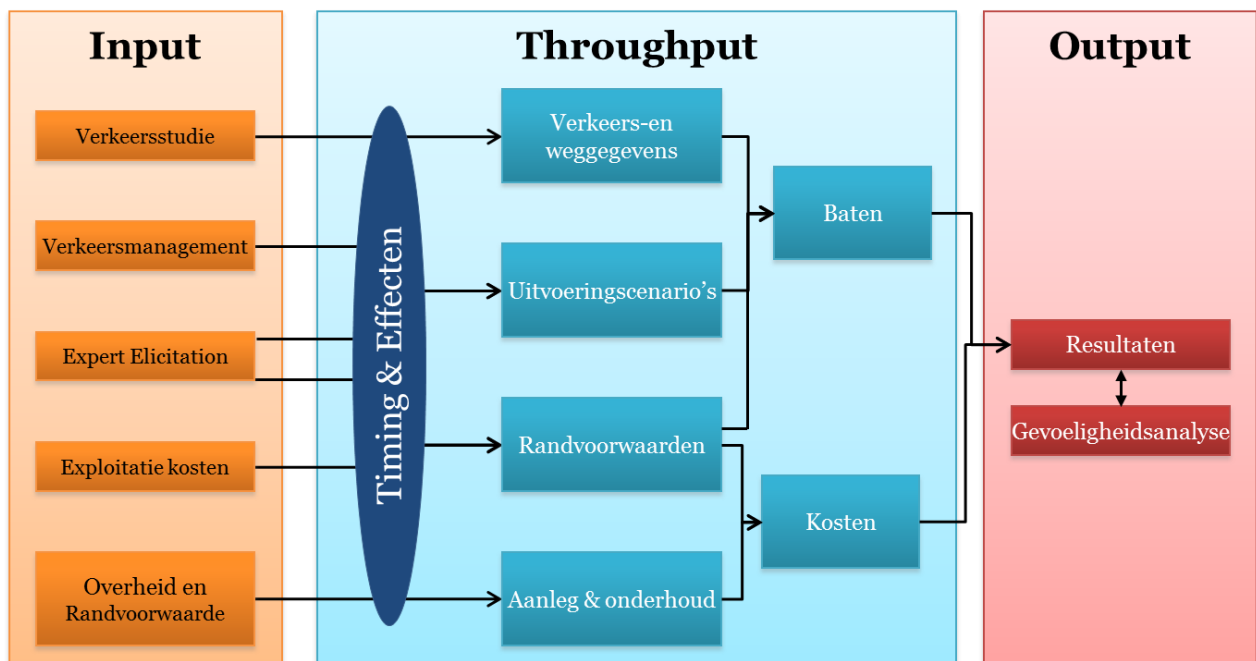
HOOFDSTUK 5 OPBOUW VAN HET ONDERSTEUNEND BESLISMODEL EN GEVOELIGHEIDSANALYSE

In dit hoofdstuk wordt de opbouw van het ondersteunend beslismodel toegelicht, waarna in het volgende hoofdstuk de resultaten aan de orde komen. Het model beoogt ondersteuning te bieden bij het nemen van beslissingen over investeringen in matrixborden. De opbouw van het model is gebaseerd op de analyses en keuzes in eerdere hoofdstukken voor wat betreft de input van het model. Het model leidt naar een Maatschappelijke Kosten en Baten Analyse (MKBA). Bij een MKBA worden baten in monetaire waarden omgezet en afgezet tegen de kosten. Deze methode is veel gebruikt om investeringsbesluiten in infrastructuur te ondersteunen. De verschillende stappen voor de opbouw van het model worden hierna uiteengezet. Allereerst komt de nul-situatie en de opbouw van de 'Throughput' aan de orde. Vervolgens wordt de modellering van zowel de prestatie-indicator bereikbaarheid als veiligheid uiteengezet. Tot slot is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, die eveneens wordt uitgelegd. Zowel de resultaten van de MKBA als van de gevoeligheidsanalyse komen in hoofdstuk 6 aan de orde.

5.1. Nul-situatie en opbouw van de Throughput

De inputwaarden die in het ondersteunend beslismodel zijn ingevoerd, zijn in de vorige hoofdstukken aan de orde gekomen. Daarom ligt nu de focus op de Throughput. In de Throughput worden de berekeningen uitgevoerd die de input zijn voor de MKBA in het laatste deel de Output. Het ondersteunend beslismodel voert deelberekeningen uit op basis van verschillende beleidsuitvoeringen. Figuur xx laat de relaties zien tussen de delen 1, 2 en 3 respectievelijk; Input, Throughput en Output van dit onderzoek.

Figuur 28. Stroomschema beslismodel



De verwerking van de inputvariabelen gebeurt in het zogenaamde “Throughput” gedeelte van het beslismodel. De Throughput is afhankelijk van de vier volgende onderdelen:

1. Randvoorwaarden;
2. Verkeers- en weggegevens;
3. Uitvoeringsscenario's (functionaliteiten en afstand tussen portalen);
4. Kosten van de gehele set aan matrixportalen per uitvoeringsscenario.

5.1.1. Algemene randvoorwaarden

Voor het beslismodel is een aantal randvoorwaarden vastgesteld om de effecten van matrixborden te meten:

- Het geanalyseerde weggedeelte is 5 km lang, waarbij wegvakken van 500m individueel worden gesimuleerd.
- Er wordt een gemiddelde dag- en weekendintensiteit ingevoerd over één jaar. Hierbij is ervoor gekozen om voor het jaar 2011 de etmaalintensiteit te nemen, zodat er volledige datasets gebruikt kunnen worden tijdens de analyse. Daarbij tellen op basis van gegevens uit KIM de effecten voor een dag 254 x en de effecten van een gemiddelde weekenddag tellen 111 x mee (KIM, 2010). Op deze manier zijn verschillende effecten per dag gemeten en gesommeerd over een jaar. Er wordt geen groei van de intensiteit meegenomen over het aantal jaren dat gesimuleerd wordt.
- Elk wegvak kan zo ingedeeld worden dat het een eigen capaciteit heeft die gebaseerd is op de theoretische capaciteit afkomstig uit de capaciteitscalculator van Transpute. Deze capaciteit wordt beschreven als 'basiscapaciteit'.
- De capaciteit is variabel voor verschillende wegtypes per 500m rijksweg. De capaciteit voor de verschillende type wegen en wegconfiguraties is bepaald aan de hand van het handboek CIA en de capaciteitscalculator van Transpute.
- Voor het verticale wachtrijmodel geldt een stapgrootte van 15-seconden waarover gesimuleerd wordt.
- Cijfers die gebruikt worden voor het berekenen van het aantal ongevallen komen uit databases van SWOV over de periode 2008 – 2013. Sinds 2008 zijn er namelijk op de gekozen onderzoeksgebieden MTM-systemen aanwezig.
- De basiscapaciteiten, kans op ongevallen en (opvolg)gedrag veranderen zodra matrixborden aan gaan. De mate waarin de capaciteit verandert, komt voort uit de Expert Elicitation. Dit geldt ook voor de veranderingen in het aantal ongevallen en het (opvolg)gedrag.
- Elk wegvak kan geïnterpreteerd worden als een resource met zijn eigen capaciteit die bepaald wordt door de wegconfiguratie. De reistijd van de automobilisten wordt afhankelijk gemaakt van de beschikbare capaciteit (het aanbod) en de vraag (het totaal aantal automobilisten) volgens het fundamentele verkeersdiagram (Q,U) (zie bijlage 5).

5.1.2 Verkeers- en weggegevens

De volgende randvoorwaarden voor de keuze van de onderzoeksgebieden zijn opgesteld:

- Er dienen matrixborden te staan.

- Er moet minimaal één weg van elke categorie volgens de BCD-categorisering van RWS geselecteerd zijn. Deze differentiatie van wegcategorieën zorgt ervoor dat er verschillende inputwaarden zijn.
- Er dienen verder geen noemenswaardige obstakels in de wegvakken voor te komen zoals tunnels, extreme bochten en hellingen.
- De intensiteit moet gedurende een aantal uren boven de geschatte capaciteit komen.
- Er moet sprake zijn infrastructurele file.
- De intensiteitsverdelingen moeten voor de drie onderzoeksgebieden (duidelijk) verschillend zijn.
- De gekozen steekproeflocatie voor een intensiteitsmeting moet een overgangsgebied zijn, waar een ‘hypothetische’ bottleneck is. Hierdoor wordt voor de hoogste intensiteit gekozen van het desbetreffende wegvak.
- Zowel de steekproeflocatie als de intensiteiten moet uit de Maandelijkse Telpunten Rapportage (MTR+) database van RWS (MTR+ database 2011) komen. Deze database geeft intensiteiten per uur, per dag, per maand, per jaar of per voertuigklasse aan. Deze applicatie geeft een goed inzicht in de toe- en afname van intensiteiten over verschillende tijdsperiodes van de dag. Verschillen tussen etmaalintensiteitsverdelingen zijn bijvoorbeeld pieken en dalen tussen spits- en daluren, brede of korte spitsuren, etc. Naar verwachting verschilt de effectiviteit van matrixborden bij verschillende intensiteitsverdelingen over een dag.

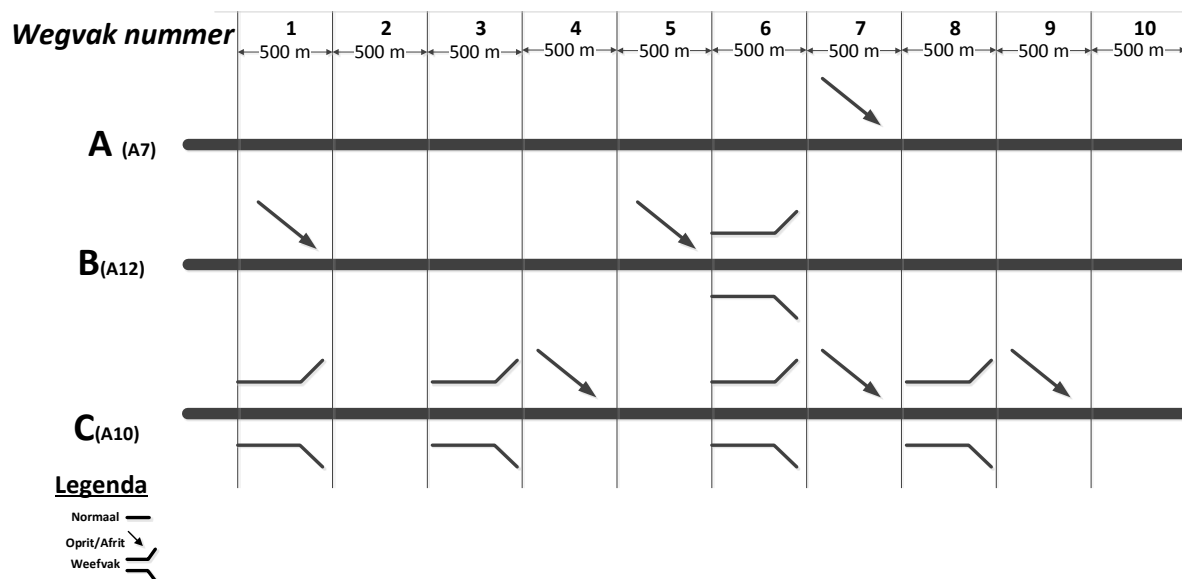
In bijlage 8 is de selectie van onderzoeksgebieden nader uiteengezet en komt ook de verdeling in etmaalintensiteit meer uitgebreid aan de orde, alsmede de invoering van deze waarden in Excel.

Modellering van de weg

In de opbouw van het model wordt de weg gemodelleerd. Daartoe wordt de weg (in Excel) opgedeeld in stukjes van 500m, waarbij elk wegvak de eigenschappen krijgt toegewezen, afhankelijk of het onderzoeksgebied te categoriseren is binnen een BCD-weg (zie begrippenkader, bijlage 4). De effecten van matrixborden zijn afhankelijk van het gekozen uitvoeringsscenario en hebben betrekking op een wegvak van 500m, 1000m of 1500m.

In figuur 29 is de schematische opbouw te zien van de wegconfiguratie. De weg wordt op deze manier in het beslismodel gemodelleerd. Hierbij heeft elk wegvak van de 10 wegvakken (zie rij 1, tabel 10), elke 500m lang, wegvak specifieke eigenschappen per onderzoeksgebied.

Figuur 29. Schematische opbouw van het onderzoeksgebied



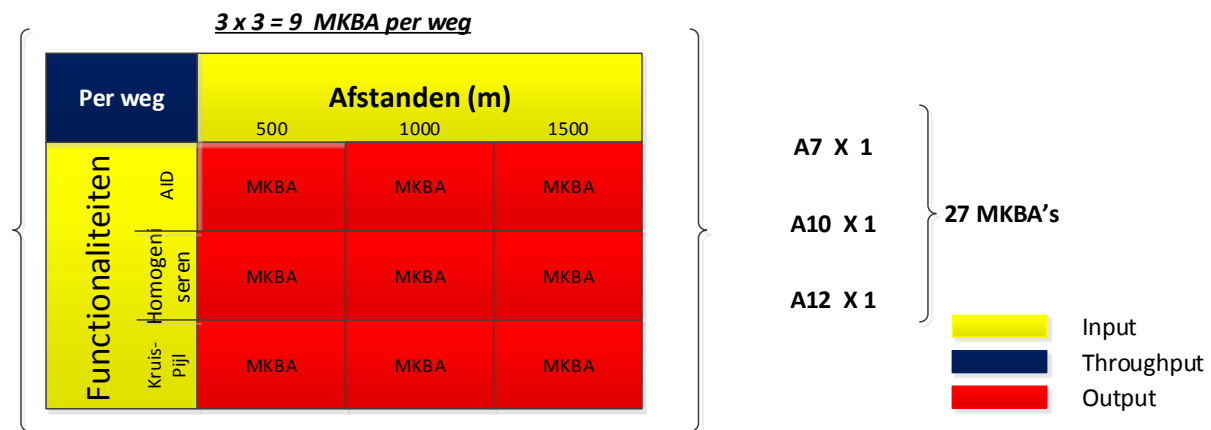
Er is gekozen om het effect van matrixborden te meten op de capaciteit van de weg zoals in 2.2.1 al naar voren kwam. Hierbij is de variabele ‘capaciteit’ onderhevig aan verandering en niet de intensiteit. De intensiteit blijft constant.

In het ondersteunend beslismodel heeft elk wegvak(nummer) bepaalde karakteristieken (capaciteit, snelheid, intensiteit, kans op ongevallen). Hierdoor is het mogelijk verschillende eigenschappen van onderzoeksgebieden met elkaar te vergelijken. Immers een afrit op een tweestrooksweg heeft niet dezelfde capaciteit en kans op ongevallen als een ‘normaal’ wegvak zonder op- en afrit.

5.1.3. Uitvoeringsscenario's

In figuur 30 zijn 27 uitvoeringsscenario's onderscheiden, op basis van een 3x3 set aan maatregelen voor drie verschillende wegen (zie figuur 30). In de kolommen worden de afstanden (500m, 1000m en 1500m) tegen elkaar uitgezet. In de rijen zijn de functionaliteiten van de matrixborden (AID, homogeniseren en kruis-pijl) beschreven. Daarmee is voor elk van de drie onderzoeksgebieden een set van 9 interventies verkregen.

Figuur 30. Uiteenzetting van interventies geeft 27 scenario's



5.1.4. Vaststellen van kosten van matrixborden

Onderzoek van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV, 2003) geeft aan dat over de periode 1995-2000 de totale aanleg- en exploitatiekosten van de 739 km (1.478 km rijbaan) verkeerssignalering in Nederland 850 miljoen euro bedroeg. Daarentegen schat RWS (Innovatieopgave RWS 2015-2025) over een langere periode 1995-2025 de exploitatiekosten van de matrixborden op 1035 miljoen euro (Rijkswaterstaat, 2013). Beide bronnen geven dus aan dat de investeringskosten van verkeerssignalering relatief hoog zijn. Een (gedetailleerde) kostenanalyse biedt inzicht in de diverse kostcomponenten van de matrixsignaalgeverssystemen.

Binnen het kader van het onderzoek zijn zowel aanleg- als onderhoudskosten meegenomen. Dit betreffen zowel vaste als variabele kosten. De kosten worden alleen bekeken voor de Aanleg en het onderhoud van deelsystemen. Tevens wordt er vanuit gegaan dat een matrixbord twee meetlussen heeft.

Aanlegkosten

De aanlegkosten betreffen de kosten van de investering in materialen en de installatie. De aanlegkosten van matrixborden maken onderdeel uit van de investeringskosten (Rijkswaterstaat, 2008). De aanlegkosten zijn te verdelen in de vaste- en variabele kosten voor een matrixborden en subsystemen. De vaste kosten bestaan uit eenmalige kosten die bij elke uitvoeringsmaatregel gelijk zijn en omvatten de kosten van bekabeling en de monitoring van de matrixborden vanuit de verkeerscentrale. Er wordt vanuit gegaan dat bij de uitvoeringsmaatregelen de afstand van de portalen zal veranderen, maar dat de communicatie tussen de portalen zal gelijk blijven en de verbinding zal blijven bestaan. Dit geldt tevens voor de installatie en de monitoring vanuit de verkeerscentrale. Er wordt aangenomen dat deze kosten gelijk blijven voor elk scenario. De kosten van het aantal matrixborden verschillen per scenario. Daarbij blijven de kosten van de aanleg per portaal gelijk, maar verschilt de som van het aantal portalen. Deze kostenpost komt voort uit de bundeling van de beschreven objecten in tabel 15.

Tabel 15. Objecten matrixsignaalgever

Matrixsignaalgever - vast
Portaal
MTM signaalgevers
MTM detectie
LED
MTM onderstation
MTM detectorstation
Wegkantstation

(Bron: Rijkswaterstaat (2013b))

Per uitvoeringsscenario kunnen de aanlegkosten verschillen. Een globale kostenraming voor de aanlegkosten is gepresenteerd in tabel 16. Deze gegevens zijn gebaseerd op de DVM normplanning. RWS heeft de vervangingskosten van portalen geschat. De levensduur van een matrixbord is geharmoniseerd op 15 jaar. Daarbij is er dus geen onderscheid gemaakt naar type onderhoud: correctief, preventief of opportunistisch onderhoud.

Tabel 16. Overzicht investeringskosten matrixsignaalgevers

Uitvoeringsmaatregelen (meter)	Kosten in euro (per uitvoeringsscenario)			
	Weg A7	A12	A10	
500	€ 1.570.000	€ 1.570.000	€ 1.586.000	
1000	€ 790.000	€ 790.000	€ 786.000	
1500	€ 628.000	€ 630.000	€ 629.000	

(Bron: Rijkswaterstaat (2013b))

De onderhoudskosten

Onder de onderhoudskosten vallen de kosten die nodig zijn voor vervanging en onderhoud van de onderdelen. Hierbij worden eveneens vaste- en variabele kosten onderscheiden. De vaste kosten zijn de jaarlijks terugkerende kosten. De variabele onderhoudskosten kunnen oplopen wanneer onderdelen van matrixborden aan vervanging toe zijn. De meeste onderdelen van de matrixborden hebben een levensduur van 15 jaar. De objecten hebben een levensduur van 15 jaar, waarbij de Led verlichting een levensduur heeft van 20 jaar. De levensduur van detectielussen wordt vaak overschat en uit expert interviews blijkt dit eerder 8 jaar of minder te zijn dan 15 jaar. De korte levensduur van deze lussen wordt veroorzaakt doordat bij vernieuwing van het asfalt de lussen beschadigd kunnen raken. Variabel onderhoud bestaat onder andere uit de vervanging van de detectielussen, hoewel dit gemiddeld is genomen over een periode van 15 jaar. Het onderhoud wordt zoveel mogelijk parallel uitgevoerd met het aanleggen van nieuwe verharding op de weg.

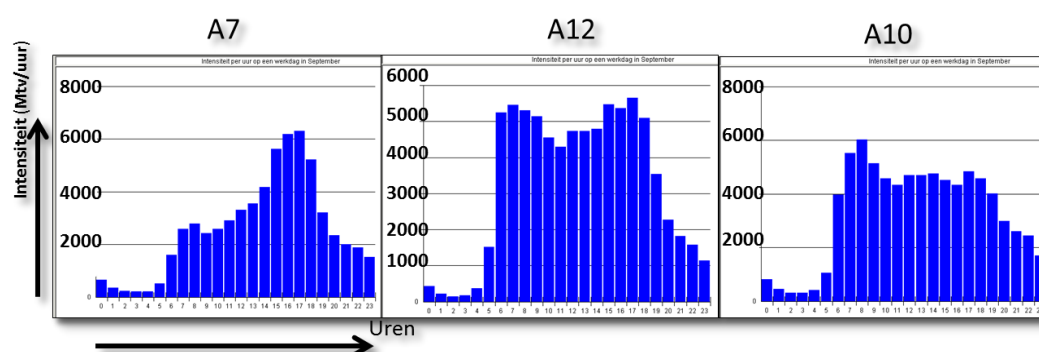
5.2 Nul-situatie

Het model gaat uit van een hypothetische 'nul-situatie' – een onderzoeksgebied zonder matrixsignaalgevers – en die wordt vergeleken met een situatie met matrixsignaalgevers. Op deze manier wordt een analyse uitgevoerd van de effecten van matrixborden door de situatie met matrixborden te vergelijken met de 'hypothetische nul-situatie'.

De nul-situatie voor de drie gekozen onderzoeksgebieden (A7, A10 en A12) kan beschreven worden aan de hand van de belangrijkste eigenschappen, namelijk aantal rijstroken, type wegvak, intensiteit en capaciteit. Dit bouwt voort op de eerdere randvoorwaarden bij de keuze van onderzoeksgebieden.

De drie onderzoeksgebieden, die zijn weergegeven in figuur 31, worden gekenmerkt door een verschillende intensiteitsverdeling over de dag.

Figuur 31. Uiteenzetting van de intensiteitsverdeling per onderzoeksgebied



Figuur 41 laat het volgende zien:

- De A7 heeft grote piekmomenten in de avond;
- De A12 beschrijft een typische situatie van een ochtend- en avondspits;
- De A10 heeft een sterke ochtendspits, terwijl over de gehele dag de intensiteit redelijk hoog is;
- De avondspits is op de A7 het hoogste namelijk > 6000 mtv/dag;
- Gemiddeld genomen heeft de A12 de hoogste intensiteit per etmaal;

In de tabellen 17, 18 en 19 zijn de eigenschappen per weg gepresenteerd. Dit zijn de basisvariabelen die tezamen met de intensiteitsverdelingen uit figuur 31, veroorzaken dat effecten per onderzoeksgebied kunnen verschillen.

Tabel 17. Eigenschappen A7

Kenmerken A7	Eigenschappen	Eenheden
Etmaalintensiteit	52.000 – 63.000	mtv/etmaal
Basiscapaciteit	5869 PAE/uur	PAE/ uur (begrippenkader)
Aantal rijstroken	“3”	-
Aantal kwetsbare weggebieden	1x oprit	-

Tabel 18. Eigenschappen A12

Kenmerken A12	Eigenschappen	Eenheden
Etmaalintensiteit	65.000 – 79.000	mtv/etmaal
Basiscapaciteit	5869 PAE/uur	PAE/ uur (begrippenkader)
Aantal rijstroken	“3”	-
Aantal kwetsbare weggebieden	2x oprit; 1 x weefvak	-

Tabel 19. Eigenschappen A10

Kenmerken	Eigenschappen	Eenheden
Etmaalintensiteit	62.000 – 79.000 mtv/etmaal	mtv/etmaal
Basiscapaciteit	7959	PAE/ uur (begrippenkader)
Aantal rijstroken	“4”	-
Aantal kwetsbare weggebieden	3x oprit; 4x weefvak	-

De tabellen 17, 18 en 19 geven het volgende aan:

- De intensiteit van de A12 (categorie C-weg) is het hoogst, terwijl de capaciteit bij de A10 het hoogste is. Dit heeft een mogelijk effect op de resultaten, voornamelijk op de bereikbaarheid. Naar verwachting zal op de A12 meer voertuigverliesuren ontstaan als gevolg van een bottleneck.
- De capaciteit en het aantal rijstroken zijn voor de A7 en A12 vergelijkbaar, terwijl de wegconfiguratie verschillend is. De A7 heeft namelijk maar één wegvak waarop de capaciteit en de kans op ongevallen beïnvloed wordt. Daarentegen heeft de A12 drie kwetsbare weggedeeltes.
- Het aantal kwetsbare weggedeeltes is voor de A10 het grootst.

Deze overeenkomsten en verschillen tussen de onderzoeksgebieden zijn van belang bij het vaststellen van de resultaten.

5.3 Modelleren van bereikbaarheid

5.3.1. Monetariseren van de baten

Om de MKBA uit te voeren moeten de effecten op bereikbaarheid op transparante wijze in monetaire waarden (euro's per jaar) worden omgezet. De opgelopen vertraging in aantal file-uren (voertuigverliesuren) wordt berekend op basis van de verkeerstheorie zoals beschreven in hoofdstuk 2. De data zijn afkomstig van Transpute en uit de MTR+.

Datagegevens van Nederlands Landelijk Model Systeem hebben betrekking op de Value-of-Time. Value-of-time (VOT) is de gemiddelde betalingsbereidheid van mensen voor een uur reistijdwinst 'Value-of-Time' (KIM, 2013)

De VOT wordt toegepast bij het monetariseren van voertuigverliesuren naar euro's, zie tabel 20. Zoals eerder aangegeven worden effecten over een jaar berekend op basis van het aantal werk- en weekenddagen. Hiermee wordt inzichtelijk gemaakt dat voertuigverliesuren op werkdagen een hogere (negatieve) monetaire waarde hebben in vergelijking met voertuigverliesuren in een weekenddag. Dit verschil in VOT verkregen uit analyse is zeer interessant voor vervolgonderzoek, voornamelijk wanneer verder onderscheid wordt gemaakt naar strategische beslissingen omtrent het afsluiten van wegstroken of wegbanen. Binnen dit onderzoek wordt er gefocust op de VOT en de hoeveelheid wegverkeer in werk- en weekenddagen.

Tabel 20. VOT per werk en weekenddag

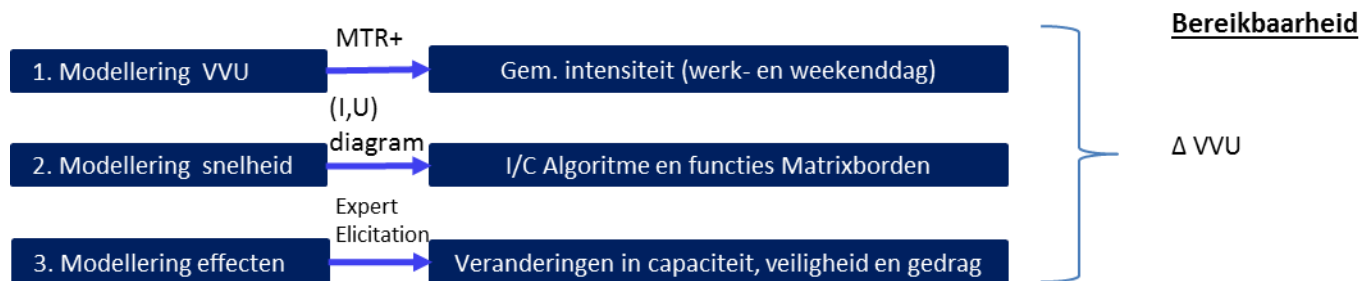
VOT	Werkdag	Weekenddag	
Algemeen	€ 17,51	€ 12,52	euro per uur
Randstad	€ 16,62	€ 11,96	euro per uur
Buiten randstad	€ 18,21	€ 12,97	euro per uur

(Bron: KIM,(2013))

5.3.2. Modelleren van bereikbaarheid in Excel

Bereikbaarheid wordt uitgedrukt in aantal voertuigverliesuren. Via de inputgegevens afgebakend naar het onderzoeksgebied van verkeer- en weggegevens (capaciteit, intensiteit) wordt een basiswaarde berekend. Vervolgens zijn de gegevens voor de nul-situatie ingevoerd. De modellering van de prestatie-indicator bereikbaarheid bestaat uit 3 onderdelen en is weergegeven in figuur 32:

Figuur 32. Schematische weergave modellering voor bereikbaarheid



Modelleren voertuigverliesuren

Voor het modelleren van 'bereikbaarheid' is het belangrijk de intensiteit en capaciteit te weten. Beide gegevens worden in het ondersteunend beslismodel ingevoerd. Uit de database van MTR zijn de intensiteit gegevens verkregen zoals in tabel 18 en 20 is beschreven. In dit onderzoek is -zoals aangegeven- gekozen voor de toepassing van een verticaal wachtrijmodel met een uitbreiding voor het berekenen van een vertraagde afwikkeling bij een toenemende intensiteit op het wegvak. De capaciteit is afhankelijk gemaakt van het type wegvak. Doordat waarden voor de intensiteit en capaciteit zijn verkregen is het mogelijk een (basic) verticaal wachtrijmodel te ontwikkelen. Er is een toevoeging gemaakt bij het vormgeven van het verticaal wachtrijmodel om vertragingen in de tijd (meer) naar de werkelijkheid te modelleren. Dit is in paragraaf 2.2. beschreven.

Figuur 33 laat in een flowchart diagram de hoofdlijnen zien die genomen zijn om 'bereikbaarheid' te modelleren. Tevens is de invloed van matrixborden gemodelleerd. De invloed van matrixborden is bepaald uit de Expert Elicitation in hoofdstuk 4 en wordt daarom aangegeven in het figuur met een rode bol met EE (Expert Elicitation). Het model beschrijft twee stappen. Stap 1 is de berekening van het aantal voertuigverliesuren zonder het effect van matrixborden. Dit is in figuur 33 de flowchart waarbij de paarse lijnen niet worden meegenomen. Stap 2 beschrijft het aantal voertuigverliesuren met het effect van matrixborden. Om tot de voertuigverliesuren te komen die in stap 2 worden bepaald dienen de paarse stippellijnen wel te worden gelezen. Door deze twee stappen uit te voeren wordt de verliestijd in reistijd gemeten. Onderstaande twee formules geven vereenvoudigd de berekening van het aantal voertuigverliesuren:

$$\text{Stap 1: } \sum VVU_{\text{zonder}} = VVU_{VW} + VVU_{I/C} \quad (4)$$

$$\text{Stap 2: } \sum VVU_* = VVU_{VW*} + VVU_{I/C*}$$

$$\text{Baat}_{\text{bereikbaarheid}} = \sum vvu_{\text{Stap 1}} - \sum vvu_{\text{Stap 2}}$$

Waarbij:

VVU_{VW} = *VVU verticaal wachtrijmodel zonder matrixborden*

VVU_{VW*} = *VVU verticaal wachtrijmodel met matrixborden*

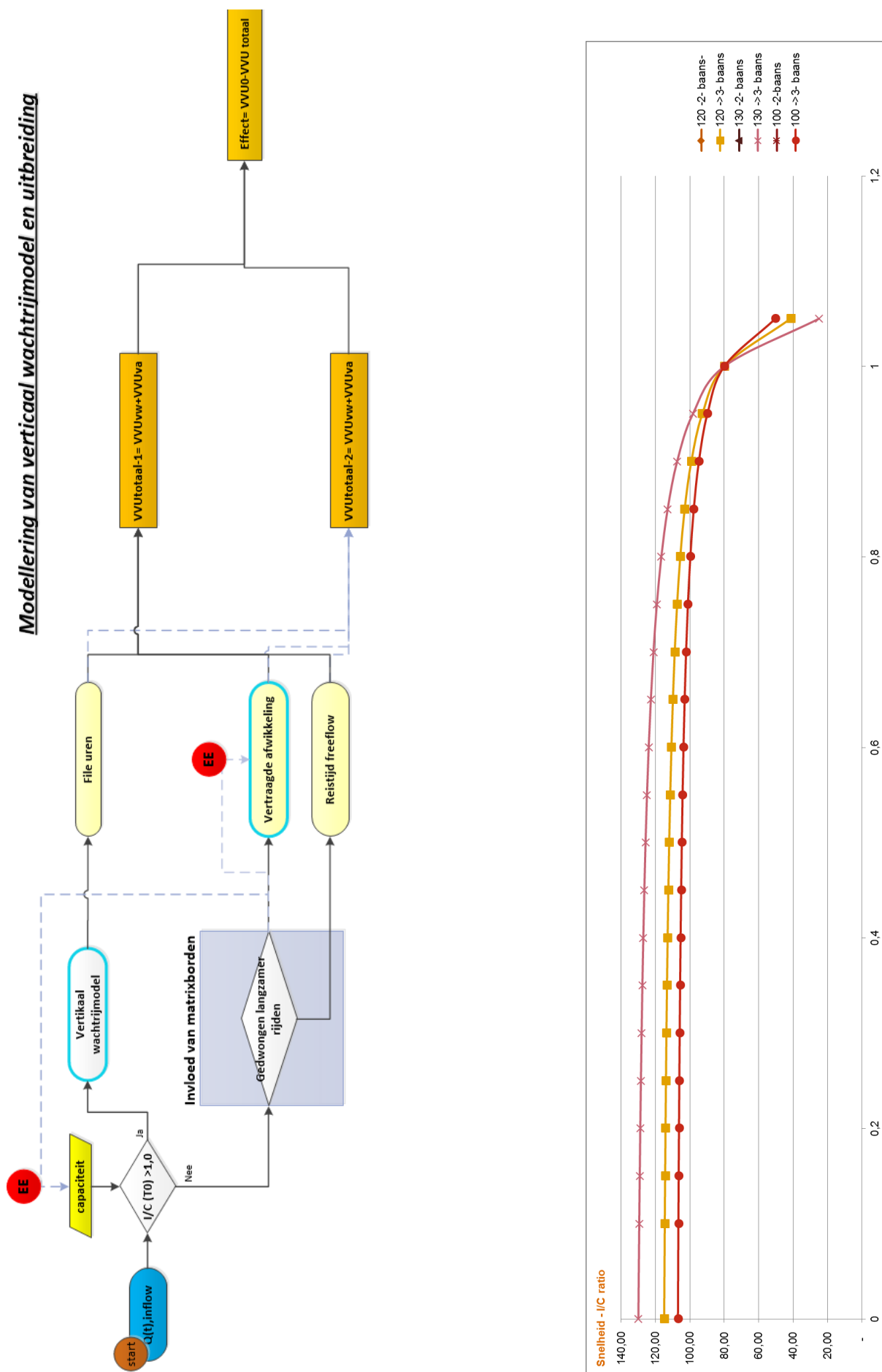
$VVU_{I/C}$ =

VVU door een vertraagde afwikkeling zonder matrixborden (I/C – verhouding)

$VVU_{I/C*}$ =

VVU door een vertraagde afwikkeling met matrixborden (I/C – verhouding)

Figuur 33. (links) Schematisch overzicht modellering (rechts) (U,I)-diagram



Modellering van snelheid in nul-situatie

De gemiddelde snelheid is een macroscopische variabelen en is afhankelijk van de intensiteit. De relatie tussen intensiteit en snelheid is beschreven in de fundamentele verkeersdiagrammen in bijlage 5. In het beslismodel is de snelheid gerelateerd aan de I/C verhouding. Zodat de gemiddelde snelheid continu wordt aangepast op de 'drukte' (I/C-verhouding) van de weg. Figuur 33 beschrijft de relatie tussen snelheid en I/C verhouding die in het model is toegepast. Dit is een algoritme die is gebaseerd op informatie verkregen van Toornburg van Transpute.

Hoe vervolgens de gemiddelde snelheid verandert door effecten van matrixborden wordt uitgelegd onder het kopje "Modellering van nieuwe snelheid".

Modellering van effecten

De invloed van matrixborden op de verkeerstroom is bepaald aan de hand van literatuurstudie en geverifieerd via Expert Elicitation. In de flowchart in figuur 33 geven de rode bollen (EE) de aangrijpingspunten weer waarop de Expert Elicitation als inputwaarden van invloed is op de modellering.

Modellering van effecten op de capaciteit

In figuur 33 is te zien dat de 'basiscapaciteit' (gele vierkant, linksboven) samen met de inkomende stroom auto's op het wegvak (intensiteit) de I/C- verhouding vormt. Zodra matrixborden aangaan wordt de 'basiscapaciteit' vergroot of verkleind afhankelijk van de input uit de Expert Elicitation (bijlage 7). De formule (5) die behoort tot het berekenen van de 'nieuwe capaciteit' is als volgt:

$$C^* = C * f_{crf} * (1 + C_{EE}) \quad (5)$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} C &= \text{Capaciteit (mtv/uur)} \\ C^* &= \text{Capaciteit met effect van matrixborden (mtv/uur)} \\ f_{crf} &= \text{Capaciteit reductiefactor (\%)} \\ C_{EE} &= \text{Capaciteits effect uit de Expert Elicitation} \end{aligned}$$

In het beslismodel worden matrixborden actief zodra de I/C-verhouding 0,8 of hoger is. Dit is volgens Rijkswaterstaat (2013) een triggerpoint waarbij de matrixborden aangaan. Vanaf dat moment worden effecten op de capaciteit doorgerekend.

De 'nieuwe capaciteit' die berekend is met formule (5) leidt tot een nieuwe I/C-verhouding (I/C^*). De I/C-verhouding wordt binnen het ondersteunend beslismodel toegepast ter activatie van (i) matrixborden, (ii) file en (iii) gemiddelde snelheid. De I/C waarden die zijn ingevoerd zijn:

- (i) Als I/C waarden > 0,79 Triggerpoint activatie matrixborden
- (ii) Als I/C waarden > 1,0 Verticaal wachtrijmodel
- (iii) Als I/C leidt tot I/C^* dan wordt de gemiddelde snelheid aangepast. De I/C^* wordt op de x-as afgelezen en kruist vervolgens de functie uit het (U,I/c)-diagram in figuur 33. Op de Y-as kan dan de nieuwe gemiddelde snelheid worden berekend.

Matrixborden worden actief bij lagere snelheden. Het is daarom van belang dat de gemiddelde snelheid variabel is in het model, zodat matrixborden zelfstandig “actief” en “niet-actief” worden.

In bijlage 8 is in een flow-chart uiteengezet hoe de C^* (capaciteit bij actieve matrixborden) gemodelleerd is, terwijl ook de modellering van v^* (snelheid bij actieve matrixborden) in een flow-chart is gezet.

Modellering veranderingen in gedrag

De invloed van matrixborden op gedrag, oftewel het (opvolg)gedrag van automobilisten, volgt als resultaat uit de Expert Elicitation en is uitgedrukt in een percentage. Er is een onderscheid gemaakt naar het aantal opvolgers per weg-ontwerpsnelheid voor verschillende displays (zie de vragen 29 t/m 42 in bijlage 7.5). Het percentage opvolgers wordt gebruikt om de gemiddelde snelheid te berekenen wanneer matrixsignaalgevers actief zijn. Hoe (opvolg)gedrag de gemiddelde snelheid beïnvloedt en hoe dit resulteert in een verandering van het aantal voertuigverliesuren is uitgelegd in formule 6. De formule (6) die is toegepast om per wegvak te berekenen wat de gemiddelde snelheid is, zodra matrixsignaalgevers actief zijn, luidt als volgt:

$$V^* = V_{i/c} * (100 - G_{EE}) + V_{mb} * \frac{G_{EE}}{100} \quad (6)$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} V^* &= \text{Snelheid (km/uur)} \\ V_{i/c} &= \text{Snelheid op basis van } I/C \text{ verhouding} \\ V_{mb} &= \text{Snelheid matrixbord} \\ G_{EE} &= \text{Percentage opvolggedrag} \end{aligned}$$

Tenslotte wordt, zoals eerder beschreven de modellering van bereikbaarheid beïnvloed door de resultaten uit de Expert Elicitation, zie rode bolletje in figuur 33 .

5.4 Modellering van veiligheid

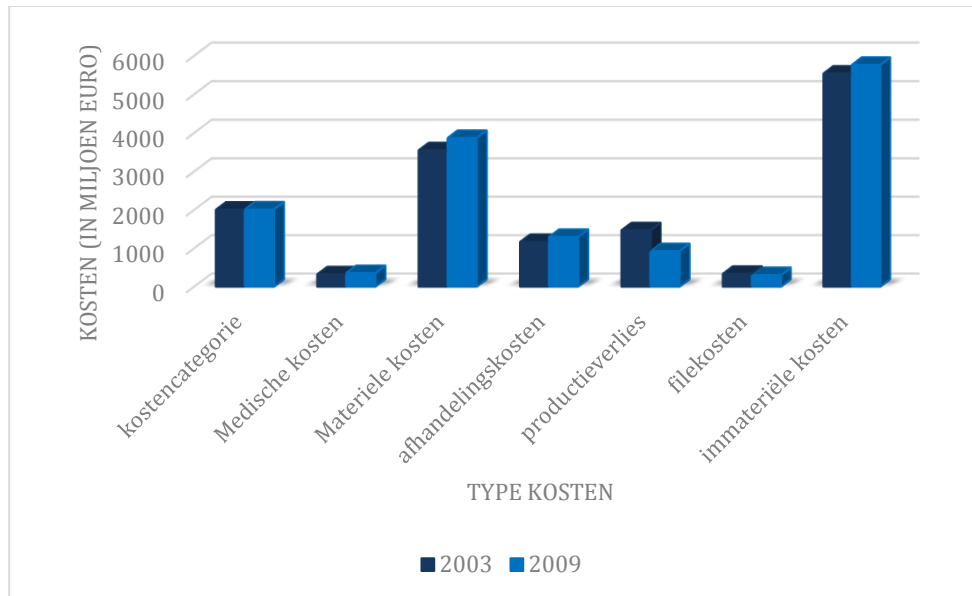
5.4.1. Monetariseren van de baten

Om de MKBA uit te voeren moeten de effecten op veiligheid op transparante wijze in monetaire waarden (euro's per jaar) worden omgezet. Veiligheid is gedefinieerd als de verandering in materiële- en immateriële schade door invoering van matrixborden (SWOV,2012).

In de MKBA zijn de voertuigverliesuren, opgelopen door ongevallen en de kosten voor ongevallen uitgezet tegen de functionaliteiten. De functionaliteiten beogen voor een deel de verkeersveiligheid te verbeteren (zie hoofdstuk 2). De verschillende soorten kosten van een verkeersongeval zijn weergegeven in figuur 34. De grootste kostenposten zijn de materiële - en immateriële kosten die ontstaan bij ongevallen. Onder materiële kosten vallen de kosten veroorzaakt door schadeclaims. Onder immateriële kosten vallen kosten die voortkomen uit leed, pijn en gederfde levensvreugde als gevolg van letsel. Zoals te zien is in figuur 34 is de filekostenpost, veroorzaakt door ongelukken, relatief laag vergeleken met de materiële- en

immateriële kostenposten. De medische kosten, afhandelingskosten en productieverlies worden buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek.

Figuur 34. Maatschappelijke kosten (in miljoen Euro) van verkeersongevallen



(Bron: SWOV, (2014))

Ten tweede worden alleen de kosten per slachtoffer meegenomen zoals RWS en SWOV deze kosten berekenen en die zijn opgebouwd uit zowel immateriële kosten als materiële kosten (zie figuur 29) (SWOV, 2014). Er is een onderscheid gemaakt naar de relatieve kans op een ongeval. Hierbij is een relatie gelegd met de invoergegevens met betrekking tot de wegconfiguratie.

De waarde die wordt toegekend aan een verkeersongeval is voor de belangrijkste slachtoffercategorieën aangegeven in tabel 21.

Tabel 21. Slachtofferkosten per type ongeval

Type ongeval	Kosten (€/per slachtoffer)
Licht letsel slachtoffer	1.500
Spoedeisende hulp	9.000
Ernstig ongeval	281.000
Ernstig verkeersongeval	2.600.000

(Bron: SWOV, (2012))

Op basis van de literatuurstudie naar verkeersstroomtheorie, veiligheid en de invloed van verkeersmanagement is de prestatie-indicator veiligheid gemodelleerd. Veiligheid is gekwantificeerd op basis van voertuigkilometers (KIM), waarna vervolgens een onderscheid is gemaakt tussen primaire- en secundaire verkeersongevallen door middel van verhoudingen uit data-analyse via COGNOS. COGNOS is de database van SWOV. Opeenvolgend zijn effecten van matrixborden, verkregen uit Expert Elicitation, op de verkeersstroom doorgerekend. Bij het berekenen van het aantal verkeersongevallen is onderscheid gemaakt naar de verandering van het aantal primaire- en secundaire

verkeersongevallen door matrixborden. Er is gebruik gemaakt van datagegevens van Grontmij, KIM, Rijkswaterstaat en SWOV.

5.4.2. Modelleren van veiligheid in Excel

Het aantal verkeersongevallen is afhankelijk gemaakt van (1) wegconfiguratie en (2) het aantal voertuigkilometers. Goudappel Coffeng beschrijft dat wegconfiguratie van invloed is op de verkeersveiligheid (Goudappel Coffeng, 2008). De baat 'veiligheid' wordt daarom per onderzoeksgebied berekend, zodat de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderd wordt. In hoofdstuk 2 is beschreven dat matrixborden effect hebben op primaire- en secundaire verkeersongevallen. In de literatuur is geen vaste verhouding tussen primaire- en secundaire verkeersongevallen gevonden.

Figuur 35. Schematische weergaven modellering voor veiligheid



5.4.3. Modelleren van de kans op ongevallen

Per onderzoeksgebied (B,C,D-wegen) verschilt de kans op ongevallen, omdat de kans op ongevallen afhankelijk is van (1) voertuigkilometers en (2) wegconfiguratie. Beide afhankelijkheden worden hieronder beschreven.

ECORYS heeft kengetallen bepaald van de kans op ongevallen per miljoen voertuigkilometer, zie tabel 12 (ECORYS, 2012). Een voertuigkilometer is een verkeerskundige eenheid die gelijk staat aan de door een voertuig afgelegde afstand van één kilometer. Dit is een gestandaardiseerde norm die voor statistische doeleinden wordt toegepast. Bij het kwantificeren van de kans op ongevallen wordt deze norm vaak gehanteerd. Dit is de reden waarom ook in dit onderzoek verkeersongevallen berekend worden aan de hand van de kans op een ongeval per miljoen voertuigkilometer, zie tabel 22.

Tabel 22. Kans op ongevallen per miljoen voertuigkilometer

	Letselongevallen per miljoen vtkm	Slachtoffers per ongeval	Doden	Ziekenhuis per 100 slachtoffers	S.E.H.
Autosnelweg	0,06	1,49	2,85	25,13	72,02

(Bron: ECORYS, (2012))

Het risico op ongevallen wordt in dit onderzoek geformuleerd door de som van het voertuigkilometer te vermenigvuldigen met de kans op ongevallen. De kans op ongevallen wordt volgens een harmonisch gewogen gemiddelde bepaald, zie formule 7 en 8. In tabel 22 staat de kans op een ongeval per wegvak (KIM ;(2010)).

$$Risico = \sum v t g k m * \bar{p} \quad (7)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n_w} g_i x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{x_i}} \quad (8)$$

Waarbij:

$vtgm$ = Voertuigkilometer
 \bar{p} = Gewogen gemiddelde kans op ongevallen
 n_w = Aantal wegvakken
 g_i = Kans ongeval per wegvak
 x_i = Aantal wegvakken met kans i

De relatieve kans op ongelukken per wegvaktype (beschreven in 2.4) is bepaald uit gegevens van KIM (KIM, 2010). Daarbij is er een onderscheid gemaakt tussen de relatieve kans op een pech- en ongeval per km per uur (spits/dal) voor verschillende wegvaktypen.

Tabel 23. Relatieve kans op ongelukken per type wegvak

Relatieve kans op ongevallen				
# rijstroken	Normaal	Invoegstrook	uitvoegstrook	Weefvak
Dal	1	0,5	1,8	3
	2	1,4	1,5	2,8
	3		3,9	4
	4			
Spits	1	1,5	5,1	6,9
	2	3,5	3,6	6,5
	3		8,5	10,1
	4			

(Bron: KIM, (2010))

Modellering van impact door ongeval

Voor de prestatie-indicator veiligheid is er voor gekozen de voertuigverliesuren die ontstaan door ongevallen te berekenen door de capaciteit te beperken. Om een figuurlijk ongeval te modelleren wordt de capaciteit vermenigvuldigd met een capaciteitsreductiefactor. Dit wordt gemodelleerd aan de hand van de parameters - die invloed hebben op de impact van een file- die beschreven staan in paragraaf 3.2. beschreven. Hoe de intensiteit en capaciteit worden gemodelleerd is reeds uitgelegd. De duur van het ongeval wordt als volgt gemodelleerd:

1. Uit brondata van KIM (2013) blijkt dat ongevallen de capaciteit gemiddeld met 43% reduceren. De figuurlijke modellering van een ongeval leidt dus tot een capaciteitsreductie van 43%. De C_{crf} staat ook beschreven in formule (5).
2. De tijdsduur van een ongeval is gemiddeld genomen 77 minuten. Dit is uit brondata van SWOV gekomen (SWOV, 2015).
3. De frequentie van ongevallen is bepaald aan de hand van literatuur en wordt onder het kopje "modellering van kans op ongevallen" beschreven.

Modellering aantal secundaire verkeersongevallen

De volgende aannames zijn gemaakt voor het berekenen van het aantal secundaire verkeersongevallen:

- 1) Er is gebruik gemaakt van de database (COGNOS) voor geregistreerde verkeersongevallen van SWOV.
- 2) De verkeersongevallen zijn bekeken voor de periode 2011 t/m 2008.
- 3) De data is alleen geanalyseerd voor de Rijkswegen met een A-nummer.
- 4) Een onderscheid is gemaakt tussen het totaal aantal verkeersongevallen en secundaire verkeersongevallen.

De vier stappen hebben geleid tot een verhouding tussen primaire- en secundaire verkeersongevallen. Deze verhouding is -zoals gezegd- gebaseerd op aannames en zal daarom afwijken van de werkelijke verhouding. Dit komt omdat niet-geregistreerde ongevallen niet bij SWOV in de database worden opgenomen.

5.4.4. Modelleren van effecten op verkeersveiligheid

De invloed van matrixborden op veiligheid is via Expert Elicitation verkregen. Deze resultaten dienen als inputwaarden voor het ondersteunend beslismodel. Op deze basis kan de modellering van veiligheid uitgevoerd worden.

De effecten uit Expert Elicitation hebben direct invloed op de kans van een ongeval. Bij activatie van matrixborden worden de kansen uit tabel 23 aangepast. Daarna wordt vervolgens door aanpassing van de totale kans op ongevallen en het effect van matrixborden op secundaire verkeersongevallen een nieuwe verhouding berekend tussen primaire- en secundaire verkeersongevallen.

Tot slot is het belangrijk bij het kwantificeren van de baat verkeersveiligheid de gewogen kans op ongevallen te relateren aan het aantal en type ongevallen. Dit onderzoek gaat er vanuit dat elk type ongeval met dezelfde kans toe-of afneemt.

5.5 Gevoeligheidsanalyse

Onzekerheden in capaciteit, veiligheid en gedragsveranderingen zijn hanteerbaar gemaakt door implementatie van een gevoeligheidsanalyses.

Toepassing van gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is bedoeld om de robuustheid van de resultaten te testen als gevolg van verschillende onzekerheden die in het afwegingsproces naar voren zijn gekomen. De onzekerheden betreffen:

- Onzekerheden over de toekenning van de resultaten uit de Expert Elicitation aan de inputvariabelen;
- Onzekerheden over de MKBA resultaten gedifferentieerd naar de drie onderzoeksgebieden.

Door een robuustheidsanalyse uit te voeren wordt enerzijds nagegaan hoe robuust de antwoorden zijn die volgen uit de MKBA. Anderzijds wordt inzicht verkregen in de mate waarin veranderingen in inputvariabelen leiden tot andere uitkomsten (EZ, 2000).

Keuze voor Monte Carlo analyse

Doordat uit literatuuronderzoek (hoofdstuk 3) is gebleken dat de effecten van matrixborden moeilijk te meten zijn door verschillende onzekere factoren, beschrijft hoofdstuk 4 een onzekerheidsanalyse op basis van Expert Elicitation. Daarmee is het nog onduidelijk hoe gevoelig de uiteenlopende effecten zijn in relatie tot de MKBA. Daarom wordt in dit hoofdstuk door middel van een Monte Carlo simulatie geanalyseerd welke inputwaarden het meest gevoelig zijn voor de uitkomsten van de MKBA en wordt de spreiding weergegeven. De keuze voor de Monte Carlo simulatie is gebaseerd op de nadruk die daarin wordt gelegd op de transparantie en betrouwbaarheid van de resultaten. Op een systematische wijze worden namelijk de verschillende onzekerheden over de inputwaarden geanalyseerd.

Alhoewel een volledige Monte Carlo analyse vereist dat alle inputwaarden worden geanalyseerd op robuustheid, beperkt dit onderzoek zich tot drie specifieke inputwaarden. De opbouw en omvang van het beslissingsondersteunend model laten niet toe meer gedetailleerdere gevoeligheidsanalyses toe te passen, aangezien elke analyse heel veel tijd in beslag neemt. Daarom worden de volgende analyses uitgevoerd:

1. Gevoeligheidsanalyse op bereikbaarheid;
2. Gevoeligheidsanalyse op veiligheid;
3. Gevoeligheidsanalyse van de VOT.

De keuze tot het afbakenen van de gevoeligheidsanalyse op deze drie gebieden, is gebaseerd op de volgende criteria:

1. De prestatie-indicator bereikbaarheid levert volgens de literatuurstudie de meeste onzekerheden op;
2. Ook de Expert Elicitation wijst op relatief grote onzekerheid voor wat betreft bereikbaarheid;
3. De bijdrage van matrixborden wordt ook beschreven door SWOV als relevant voor de prestatie-indicator veiligheid;
4. De VOT is een onzekere factor en daarom van belang, omdat er nu uit het LMS model een procentuele verdeling is genomen over een jaargemiddelde, terwijl voor elke Rijksweg de verkeerssamenstelling erg verschillend is. Bij het bepalen van een gewogen gemiddelde zijn voor enkele type automobilisten de VOT erg hoog. Een verandering in verkeerssamenstelling kan dus grote spreiding geven op de totale baten.

Methode Monte Carlo simulatie

Een Monte Carlo (hierna: MC) beschouwt elke variabele, waarop een MC wordt toegepast, als stochast waarover een triangulaire verdeling wordt toegepast. Deze triangulaire verdeling is voor de inputwaarden verdeeld volgens de verdelingen (5^e, 50^e en 95^e) verkregen uit hoofdstuk 4. Hierbij zijn de verkregen 5^e, 50^e en 95^e percentiel respectievelijk verdeeld in minimum, medium en hoge waarden, zoals vereist bij een triangulaire verdeling. Uit deze triangulaire verdeling wordt voor elke simulatieronde van de MC analyse een waarde getrokken en meegenomen om een cumulatieve verdeling te krijgen.

Bij de MC simulatie wordt over een trekking van 500 runs een verdeling gemaakt over de getrokken waarden. De resultaten van een MC-simulatie zijn in een verdeling gezet, die

inzicht geeft in de waarschijnlijkheid dat een bepaalde waarde het vaakst wordt getrokken. De Monte Carlo analyse wordt binnen dit onderzoek toegepast om inzicht te geven in:

1. De robuustheid van de resultaten met betrekking tot capaciteit, veiligheid en (opvolg)gedrag;
2. De robuustheid van de resultaten met betrekking tot de verschillende uitvoeringsmaatregelen (BCD – wegen);
3. De robuustheid van de samenstelling van het wegverkeer.

Keuze scenario's

Omdat het effect het grootste is bij de 500m wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de scenario's gerelateerd aan de 500m. De overige scenario's zijn met dezelfde variabelen aangemaakt, maar daarbij verschillen de inputwaarden m.b.t. procentuele verdelingen. De effecten zullen wel degelijk verschillen per wegtype (B,C, D-wegcategorie). Daarom wordt er wel een gevoeligheidsanalyse gedaan over deze drie verschillende scenario's behorende bij de drie type wegen.

5.6 Tussentijdse conclusie

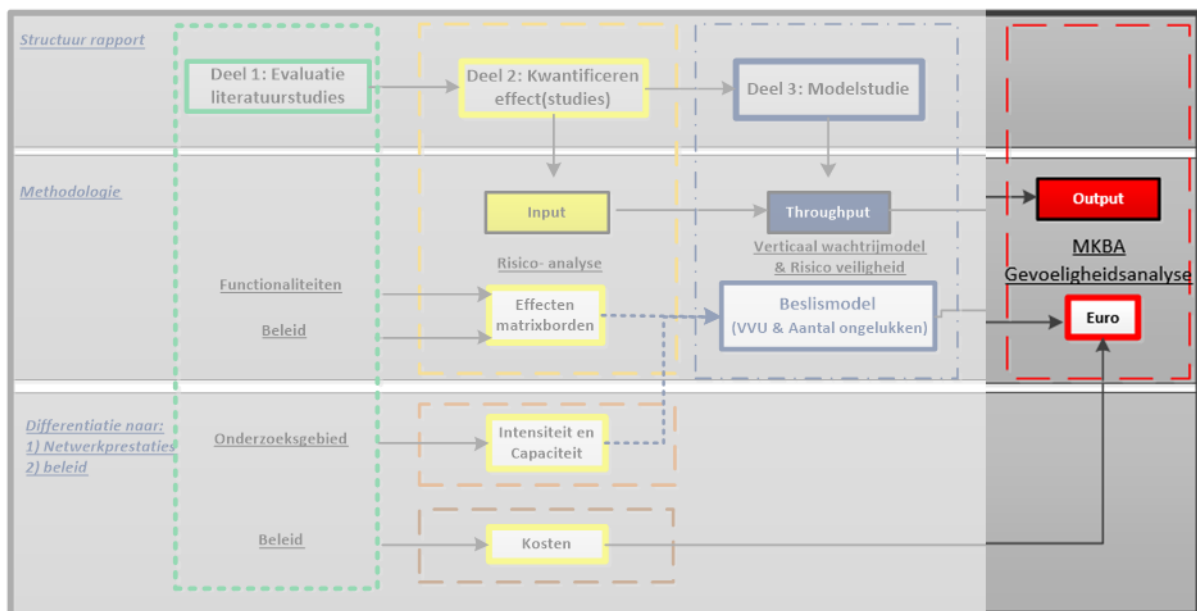
De opbouw van het ondersteunend beslismodel is in dit hoofdstuk uiteengezet door de 'Throughput' specifiek te beschrijven, inclusief de randvoorwaarden en aannames die aan het model ten grondslag liggen. De kosten zijn beschreven en in monetaire waarden weergegeven en dit is ook gedaan voor de baten op het gebied van bereikbaarheid en veiligheid.

Bij de modellering van de effecten van matrixborden op de prestatie-indicatoren bereikbaarheid en veiligheid is het effect van verschillende interventies (uitvoeringsmaatregelen, functionaliteiten en wegcategorieën) gemeten. Hierbij is het bereikbaarheidseffect gemeten in voertuigverliesuren (VVU) en is het veiligheidseffect gemeten in aantal (primaire en secundaire) ongevallen. Tenslotte zijn de maatschappelijke baten uitgedrukt in de monetaire waarden en afgezet tegen de kosten.

De gevoeligheidsanalyse geeft inzicht in de robuustheid van het beslismodel en zo kan nagegaan worden hoe robuust de antwoorden zijn die volgen uit de MKBA. Tevens wordt inzicht verkregen in de mate waarin veranderingen in inputvariabelen leiden tot andere uitkomsten. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op de prestatie-indicatoren bereikbaarheid, veiligheid en tenslotte op de Value Of Time. Naar verwachting is de verandering in de parameter 'capaciteit' van meeste invloed op de NCW. Dit heeft onder andere te maken met de opbouw van het beslismodel waarbij gebruik is gemaakt van het verticale wachtrijmodel.

– “Output” –

Figuur 35. Overzicht “Output”



HOOFDSTUK 6 RESULTATEN

Het ondersteunend beslismodel is toegepast om inzicht te bieden in de verschillende kosten en baten van matrixborden met betrekking tot de drie onderzoeksgebieden (drie verschillende snelwegen met verschillende karakteristieken). De opbouw van het model en de gevoeligheidsanalyse is in het vorige hoofdstuk uiteen gezet evenals de gevoeligheidsanalyse. In dit hoofdstuk worden de resultaten per onderzoeksgebied gepresenteerd, dat wil zeggen de voor de drie geselecteerde wegen. Voor elke weg worden vervolgens per functionaliteit (AID, homogeniseren en kruis-pijl) de resultaten gepresenteerd voor de prestatie-indicatoren bereikbaarheid en veiligheid. Dit is de zogenaamde 'output' van het ondersteunend beslismodel voor de 27 uitvoeringsscenario's. Tenslotte wordt elke uiteenzetting van de resultaten per onderzoeksgebied afgesloten met een analyse op basis van de gevonden Netto Contante Waarde (NCW). Aan het einde van het hoofdstuk worden de resultaten uit de gevoeligheidsanalyse gepresenteerd.

6.1 Resultaten A7

De nul-situatie van de A7 in tabel 24 laat zien dat de vertraging opgelopen in de wachtrij de grootste monetaire waarde heeft in vergelijking met de andere kostenposten. Dit kan veroorzaakt worden door een overschatting van de vertraging door file ten opzichte van de werkelijkheid door tekortkomingen van de verticale wachtrijtheorie. Hoofdstuk 7 beschrijft het effect van deze tekortkoming op de resultaten.

Tabel 24. Nul-situatie A7

Naam weg: A7	Uitvoeringsmaatregel:	nul-situatie
Overzicht Baten	Te verdelen in	Baat (1.000 €/jaar)
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€ 58.600
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 2.238
Veiligheid	File (ongevallen)	€ 1.690
	Ongevallen	€ 1.530
Totaal		€ 6.406

6.1.1 Resultaten functionaliteit – AID

Tabel 25. Baten functionaliteit AID - A7

Naam weg: A7	Uitvoeringsmaatregel:	Baten AID		
Overzicht Baten	Te verdelen in	500m	1000m	1500m
		Baat (*1.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€ 12.727	€ 8.908	€ 7.119
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 289	€ 274	€ 15
Veiligheid	File (ongevallen)	€ 390	€ 313	€ 209
	Ongevallen	€ 589	€ 13	€ -81.878
Totaal		€ 13.995	€ 9.508	€ -74.535

Bereikbaarheid

De baten die resulteren uit veranderingen in het aantal voertuigverliesuren ten opzichte van de nul-situatie worden voor alle drie de uitvoeringsmaatregelen hoog ingeschat. Daarbij is de baat "voertuigverliesuur" voor de uitvoeringsmaatregel 500m gelijk aan 12 miljoen euro.

Zodra afstand tussen de portalen toeneemt, neemt het effect -uitgedrukt in voertuigverliesuren- af. Dit is ook te zien in tabel 25. De baten (een afname in voertuigverliesuren) bedragen voor de 1000m, 9 miljoen euro en voor de 1500m ongeveer 7 miljoen euro.

De reistijd neemt toe naarmate automobilisten de snelheid van de matrixborden aanhouden. Dit is in tabel 22 te zien, doordat de vertraging (ten opzichte van de ontwerpsnelheid) toeneemt wanneer de afstand tussen portalen vergroot wordt. Deze bevindingen zijn gerelateerd aan het opvolgedrag van automobilisten. Automobilisten die de snelheid van matrixborden opvolgen, rijden (vaak) langzamer dan de snelheid die gereden zou kunnen worden. Het (opvolg)gedrag van automobilisten is dus van invloed op het effect van de matrixborden.

Veiligheid

Het effect van veiligheid lijkt op het eerste gezicht niet noemenswaardig door het hoge aandeel van voertuigverliesuren in de totale som aan baten (ongeveer 4%). De resultaten voor de 1500m uitvoeringsmaatregel tonen echter aan dat de veiligheid wel negatief beïnvloed wordt. De baten verminderen dan van 590.000 Euro naar -245.000 euro, waarmee de baat veiligheid negatief wordt. Een uitvoeringsmaatregel op de A7 over een afstand van 1500m is daarom sterk af te raden vanwege de grote verandering in de verkeersveiligheid. Het hanteren van de uitvoeringsmaatregel 1000m is twijfelachtig en tabel 25 laat zien dat er dan een kleine positieve baat (12.678 euro) optreedt. Voor de 500 uitvoeringsmaatregel zijn de veiligheidsbaten wel zeer positief en bedragen 589.040 euro

Deze deels negatieve veranderingen in veiligheid komen overigens overeen met de input van de Expert Elicitation (zie hoofdstuk 4). Daarbij is gebleken dat de verkeersveiligheid verslechterd naarmate de portalen verder uit elkaar staan.

6.1.2 Resultaten functionaliteit – Homogeniseren

Tabel 26. Baten functionaliteit Homogeniseren – A7

		Baten homogeniseren			
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel	500m	1000m	1500m
Overzicht Baten		Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€	388	€	388
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€	-8	€	15
Veiligheid	File (ongevallen)	€	-1.557	€	-259
	Ongevallen	€	-102	€	-110,6
Totaal		€	-1.279	€	33
				€	-2.397

Bereikbaarheid

De werking van homogeniseren heeft weinig effect op de bereikbaarheid van de weg in termen van capaciteit. Dit is in overeenstemming met de inputwaarden beschreven in hoofdstuk 4 (0,01%). De baten beschreven in de rij “file-uren uit wachtrij” worden nauwelijks beïnvloed door de functionaliteit homogeniseren.

Opvallend is de negatieve bijdrage, bij de uitvoeringsmaatregel 500m, van homogeniseren op de voertuigverliesuren die ontstaan door ‘vertraging’ ten opzichte van de free-flow snelheid. Het herhaaldelijk plaatsen van matrixborden zorgt juist voor een negatief effect. Daarbij ligt de gemiddelde snelheid van de automobilist lager dan de referentiesnelheid. Voor een uitvoeringsmaatregel van 1000m en 1500m veranderen de VVU’s in positieve baten. Alhoewel opgemerkt dient te worden dat de baten voor de uitvoeringsmaatregel 1500m gelijk zijn aan nul. Dit betekent dat het verder uit elkaar plaatsen van portalen alleen een positief effect heeft bij een uitvoeringsafstand van 1000m. Dit zou te maken kunnen hebben met gedrag, automobilisten nemen de snelheid dan meer voor lief.

Veiligheid

Uit het beslissingsondersteunend model is naar voren gekomen dat homogeniseren een negatieve werking heeft op verkeersveiligheid. Terwijl bij de uitvoeringsmaatregel 500m de negatieve baat ruim van 1,5 miljoen euro is, neemt dit verder toe naar 2,5 miljoen euro bij 1000m en naar 2,6 miljoen euro bij 1500m.

6.1.3 Resultaten functionaliteit – Kruis-pijl

Tabel 27. Baten functionaliteit Kruis-pijl – A7

		Baten kruis-pijl					
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	500m	1000m	1500m		
Overzicht Baten		Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)				
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€	-	€	-	€	-
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€	0,30	€	0,30	€	0,30
Veiligheid	File (ongevallen)	€	1.586	€	1.586	€	1.586
	Ongevallen	€	1.522	€	1.522	€	1.522
Totaal		€	3.109	€	3.109	€	3.109

Bereikbaarheid

Het effect van kruis-pijl is niet bekeken op bereikbaarheid, omdat Kruis-pijl juist een capaciteitsreductie teweeg brengt. Daarom blijft het effect op voertuigverliesuren ten opzichte van de ‘nul-situatie’ constant. Tevens geldt dit ook voor het gedrag van automobilisten.

Veiligheid

Uit de resultaten in tabel 24 blijkt dat veiligheid niet of nauwelijks wordt beïnvloed door de uitvoeringsmaatregelen van de Kruis-pijl. In alle gevallen is het resultaat wel positief. Dit is ook gebleken uit de onzekerheidsanalyse in hoofdstuk 4. Hierbij had de Kruis-pijl alleen effect (53%) op de secundaire verkeersongevallen.

6.1.4 Resultaten op basis van NCW

Tabel 28. Resultaat MKBA – AID – A7

Resultaten MKBA	A7	Uitvoeringsmaatregelen		
Type maatregel	Homogeniseren	500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 1.279-	€ 2.306-	€ 2.397-
NCW		€ 15.326-	€ 24.391-	€ 25.059-
IRR		Negatief	Negatief	Negatief

De resultaten van de MKBA (Tabel 28) geeft de gunstige kosten-baten verhouding van de investering in matrixborden voor deze weg weer. Hierbij is te zien dat de investering in matrixborden de hoogste NCW oplevert voor de 500m uitvoeringsmaatregel. Tussen de uitvoeringsmaatregel 1000m en 1500m is er een verschil aan baten van 20 miljoen euro. Dit verschil is aanzienlijk minder in vergelijking met het verschil van de NCW 500m naar 1000m. Tussen de 500m en 1000m maatregel bedraagt het verschil maar liefst 43 miljoen euro in NCW. Een investering voor matrixborden op de A7 is dus het meest gunstig voor de 500m maatregel.

Tabel 29. Resultaat MKBA – Homogeniseren – A7

Resultaten MKBA	A7	Uitvoeringsmaatregelen		
Type maatregel	Homogeniseren	500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 1.279-	€ 2.306-	€ 2.397-
NCW		€ 15.326-	€ 24.391-	€ 25.059-
IRR		Negatief	Negatief	Negatief

De resultaten van de MKBA (tabel 29) geven aan dat een investering in de maatregel homogeniseren niet tot een positieve opbrengst leidt. De NCW na 15 jaar is zeer negatief voor alle drie de uitvoeringsmaatregelen.

Tabel 30. Resultaat MKBA – Kruispijl - A7

Resultaten MKBA	A7	Uitvoeringsmaatregelen		
Type maatregel	Kruis-Pijl	500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 3.109	€ 3.109	€ 3.109
NCW		€ 28.719	€ 29.963	€ 30.211
IRR		205%	416%	522%

Uit tabel 30 blijkt dat de NCW voor de functionaliteit kruis-pijl nagenoeg gelijk is voor de drie uitvoeringsmaatregelen.

6.2 Resultaten A12

De nul-situatie geeft – evenals het geval was voor de A7- wederom een hoge inschatting van het aantal voertuigverliesuren. De voertuigverliesuren die ontstaan door ongevallen bedragen ongeveer 10% van het aantal voertuigverliesuren. De kosten die voortkomen uit ongevallen bedragen 4 miljoen euro. In het ‘nul-scenario’ is het aandeel veiligheid het dubbele van het ‘nul-scenario-A7’. Een verklaring hiervoor is de hogere etmaalintensiteit en een hoger aantal kwetsbare weggebieden van de A12 ten opzichte van de A7.

Tabel 31. Nul-situatie A12

Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	nul-situatie
Overzicht Baten		Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)
Bereikbaarheid		File (wachtrij)	€ 85.624
		Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 3.219
Veiligheid		File (ongevallen)	€ 9.020
		Ongevallen	€ 4.036
Totaal			€ 101.899

6.2.1 Resultaten functionaliteit – AID

Tabel 32. Baten functionaliteit AID - A12

Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	Baten AID		
			500m	1000m	1500m
Overzicht Baten		Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid		File (wachtrij)	€ 50.420	€ 42.568	€ 38.161
		Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 506	€ -2.189	€ 156
Veiligheid		File (ongevallen)	€ 3.998	€ 1.518	€ 991
		Ongevallen	€ 1.558	€ -1	€ -688
Totaal			€ 56.482	€ 41.896	€ 38.619

Bereikbaarheid

Tabel 32 laat zien dat voor de verschillende uitvoeringsmaatregelen de baten vrijwel ‘lineair’ afnemen. De baten zijn per uitvoeringsmaatregel respectievelijk 56 miljoen euro, 42 miljoen euro en 39 miljoen euro per jaar. Het verschil in baten is het grootst bij een wijziging van de uitvoeringsmaatregel van 500m naar 1000m.

De voertuigverliesuren, op basis van ‘de vertraging t.o.v. de ontwerpsnelheid’ zijn voor de 1000m zeer ongunstig. Een opvallend resultaat is de negatieve baat bij de uitvoeringsmaatregel 1000m ten opzichte van de positieve baat bij 1500m.

Veiligheid

Er is een positieve baat veiligheid van AID bij de uitvoeringsmaatregel 500m, maar deze neemt snel af bij een wijziging van de portaalafstand van 500m naar 1000m

6.2.2 Resultaten functionaliteit – Homogeniseren

Tabel 33. Baten functionaliteit Homogeniseren – A12

Naam weg:		A12	Baten homogeniseren			
Overzicht Baten		Uitvoeringsmaatregel	500m	1000m	1500m	
		Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)			
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€	2.317	€	2.317	
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€	91	€	91	
Veiligheid	File (ongevallen)	€	5.275	€	3.397	
	Ongevallen	€	-4.700	€	-4.733,9	
Totaal		€	2.983	€	33	
					€	1.050

Bereikbaarheid

De functionaliteit homogeniseren heeft weinig effect op de bereikbaarheid van het gekozen weggedeelte. Dit blijkt uit o.a. uit de resultaten die beschreven staan in de rij “file (wachtrij)”, de baten blijven hier namelijk constant voor verschillende uitvoeringsmaatregelen. De voertuigverliesuren voor de baat veiligheid bedragen ruim 2 miljoen euro voor de verschillende uitvoeringsmaatregelen.

Veiligheid

Het aantal ongevallen neemt iets toe bij homogeniseren op de A12. Voor de uitvoeringsmaatregel 1000m naar 1500m is de toename in baat ongeveer 10.000 euro. Dit komt overeen met een (kleine) toename van het aantal verkeersongevallen.

De totale baten voor homogeniseren zijn voor de A7 negatief, terwijl de baten van homogeniseren van de A12 juist positief zijn (rond de 1 tot 2 miljoen euro).

6.2.3 Resultaten functionaliteit – Kruis-pijl

Tabel 34. Resultaat MKBA – Kruis-pijl – A12

Naam weg: A12		Uitvoeringsmaatregel:	Baten kruis-pijl		
Overzicht Baten		Te verdelen in	500m	1000m	1500m
			Baat (10.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€ -	€ -	€ -	
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 2	€ 2	€ 2	
Veiligheid	File (ongevallen)	€ 848	€ 848	€ 848	
	Ongevallen	€ 403	€ 403	€ 404	
Totaal		(Tienduizenden €/jaar)	€ 1.252	€ 1.252	€ 1.252

De kruis-pijl beïnvloedt niet of nauwelijks de prestatie-indicatoren (zie resultaten in bijlage 9). Het maakt voor de effectiviteit van de functionaliteit kruis-pijl niet uit of portalen op 500m, 1000m of 1500m staan.

6.2.4 Resultaten op basis van NCW

Hieronder zijn de resultaten van de MKBA gepresenteerd voor de A12. Wederom worden hier de functionaliteiten AID, Homogeniseren en Kruis-pijl individueel beschreven.

Tabel 35. Resultaat MKBA – AID – A12

Resultaten MKBA Type maatregel	A12 AID	Uitvoeringsmaatregelen		
		500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 56.482	€ 41.896	€ 38.619
NCW		€ 564.456	€ 419.286	€ 386.650
IRR		3835%	5693%	6561%

De resultaten uit de MKBA geven weer dat een investering in de functionaliteit AID hoge baten en een duidelijk rendement opleveren. De investering over een uitvoeringsafstand van 500m en 1000m laat een grotere verandering (145 miljoen euro) zien in 'waarde' ten opzichte van de uitvoeringsmaatregel 1500m (33 miljoen euro).

Tabel 36. Resultaat MKBA – Homogeniseren – A12

Resultaten MKBA Type maatregel	A12 Homogeniseren	Uitvoeringsmaatregelen		
		500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 2.983	€ 1.071	€ 1.050
NCW		€ 27.453	€ 9.505	€ 9.541
IRR		196%	139%	172%

Voor de functionaliteit homogeniseren is een grote verandering in NCW te zien, zie tabel 36. Hierbij is te zien dat de NCW na 15 jaar voor de uitvoeringsmaatregel van 500m het hoogste is. En kan worden opgemerkt dat een NCW voor een uitvoeringsmaatregel van 1500m hoger is dan voor 1000m. Een toename van de NCW bij 1500m, terwijl de baten afnemen, is te verklaren door de forse afname van de totale som aan kosten van matrixborden.

Tabel 37. Resultaat MKBA – Kruis-pijl – A12

Resultaten MKBA Type maatregel	A12 Kruis-Pijl	Uitvoeringsmaatregelen		
		500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 12.523	€ 12.523	€ 12.523
NCW		€ 123.213	€ 124.457	€ 124.706
IRR		845%	1697%	2123%

De uitvoeringsmaatregel kruis-pijl laat weinig verschil zien in de NCW waarde. Uit het verschil in NCW waarde blijkt dat ook voor de A12 een uitvoeringsmaatregel voor 1500m kan worden uitgevoerd. Dit resulteert in een hoger monetaire baat na 15 jaar, zie tabel 37.

6.3 Resultaten A10

De nul-situatie voor de A10 schetst minder voertuigverliesuren dan het geval was voor de A12. Op de A10 bedragen de voertuigverliesuren door file (Verticaal wachtrijmodel) 68 miljoen euro. De kosten voor ongevallen uitgedrukt in euro's die voortkomen uit file-uren en ongevallen zijn ongeveer 16,5 miljoen euro. Dit is 17% van de totale som. Opvallend is de toename in het aandeel veiligheid in vergelijking met de 'nul-situaties' van de A7 en A10. Hierbij waren respectievelijk de aandelen 6% en 10%. Op basis van de gegeven

eigenschappen van de weg, tabellen 18 tot 20 zou het verschil kunnen worden verklaard uit het aantal kwetsbare weggedeeltes.

Tabel 38. Nul-situatie A10

Naam weg: A10		Uitvoeringsmaatregel:		nul-situatie	
Overzicht Baten		Te verdelen in		Baat (*1.000 €/jaar)	
Bereikbaarheid	File (wachtrij)		€	67.995	
	Vertraging tov ontwerpsnelheid		€	5.508	
Veiligheid	File (ongevallen)		€	10.563	
	Ongevallen		€	4.939	
Totaal			€	89.004	

6.3.1 Resultaten functionaliteit – AID

Tabel 39. Baten functionaliteit AID - A10

Naam weg: A10		Baten AID		
Uitvoeringsmaatregel:		500m	1000m	1500m
Overzicht Baten	Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€ 38.178	€ 29.751	€ 25.197
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 3.661	€ 3.597	€ 267
Veiligheid	File (ongevallen)	€ 2.287	€ 1.873	€ 1.148
	Ongevallen	€ 1.939	€ -26	€ -953
Totaal		€ 46.064	€ 35.196	€ 25.659

Bereikbaarheid

De A10, een ringweg, laat een sterke afname zien in voertuigverliesuren (tabel 36). De effectiviteit van AID neemt af naarmate de afstand tussen de portalen groter wordt. Ook nemen de file-uren door ongevallen toe, zodra de portalen over 1500m worden geplaatst.

De veranderingen in de baten m.b.t. ‘de vertraging t.o.v. de ontwerpsnelheid’ heeft weinig tot nauwelijks effect op dit onderzoeksgebied. Dit is opmerkelijk omdat het verschil in de baten voor ‘vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid’ relatief veel verandert bij de A7 en A12.

Veiligheid

De AID beïnvloedt de verkeersveiligheid op de A10. Bij een portaalafstand 500m is de baat nog positief, maar bij 100m en 1500m verandert dit in een kleine negatieve post.

6.3.2 Resultaten functionaliteit – Homogeniseren

Tabel 40. Baten functionaliteit Homogeniseren – A10

Naam weg: A10		Baten homogeniseren		
Uitvoeringsmaatregel		500m	1000m	1500m
Overzicht Baten	Te verdelen in	Baat (*1.000 €/jaar)		
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€ 1.677	€ 1.677	€ 1.677
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€ 3.587	€ 3.587	€ 3.587
Veiligheid	File (ongevallen)	€ 5.980	€ 3.550	€ 3.533
	Ongevallen	€ -5.294	€ -5.336,8	€ -5.346
Totaal		€ 5.949	€ 3.477	€ 3.451

Bereikbaarheid

De functionaliteit homogeniseren heeft een kleine invloed op de voertuigverliesuren die ontstaan door ongevallen. Wanneer afstanden tussen de portalen groter worden neemt het aantal voertuigverliesuren door ongevallen af (2 miljoen euro).

Veiligheid

De kosten voor het aantal ongevallen blijven vrijwel gelijk. Geconcludeerd kan worden dat de ernst van de ongevallen minder zwaar meewegen dan de file-uren die ontstaan door het afsluiten van een weg bij ongevallen.

6.3.3 Resultaten functionaliteit – Kruis-pijl

Tabel 41. Baten functionaliteit Kruis-pijl – A10

Naam weg: A10		Uitvoeringsmaatregel:		Baten kruis-pijl			
Overzicht Baten		Te verdelen in		Baat (*1.000 €/jaar)			
				500m	1000m	1500m	
Bereikbaarheid	File (wachtrij)	€	-	€	-	€	-
	Vertraging tov ontwerpsnelheid	€	3.484	€	3.484	€	3.484
Veiligheid	File (ongevallen)	€	9.939	€	9.929	€	9.929
	Ongevallen	€	4.926	€	4.926	€	4.926
Totaal		€	18.349	€	18.339	€	18.339

Het effect van de kruis-pijl is zeer klein en varieert alleen voor de 500 m ten opzichte van de 1000m en 1500m.

6.3.4 Resultaten op basis van NCW

Hieronder zijn de resultaten van de MKBA gepresenteerd voor de A10. Wederom worden hier de functionaliteiten AID, Homogeniseren en Kruis-pijl individueel beschreven.

Tabel 42. Resultaat MKBA AID – A10

Resultaten MKBA		Uitvoeringsmaatregelen		
Type maatregel	A10 AID	500 m	1000 m	1500 m
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41
Baten (*1000 €/jr)		€ 46.064	€ 35.196	€ 29.063
NCW		€ 459.742	€ 351.965	€ 290.725
IRR		3126%	4781%	4936%

De NCW voor de A10 – AID geeft inzicht in de verandering van de NCW na 15 jaar. Het grootste verschil zit tussen de 1000m en 1500m aan kasstroom. De NCW bij 1500m (290 miljoen euro) is hierbij een heel stuk lager in vergelijking met de NCW van 500m (460 miljoen euro).

Tabel 43. Resultaat MKBA – Homogeniseren – A10

Resultaten MKBA Type maatregel	A10 Homogeniseren	Uitvoeringsmaatregelen			
		500 m	1000 m	1500 m	
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588	
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41	
Baten (*1000 €/jr)		€ 5.949	€ 3.477	€ 3.451	
NCW		€ 57.087	€ 33.584	€ 33.645	
IRR		397%	465%	580%	

De MKBA resultaten voor homogeniseren geven inzicht in de variatie die optreedt bij 500m en 1000m. Het grote verschil geeft inzicht in de effectiviteit van het plaatsen van homogeniseren op een kwetsbaar weggedeelte voor wat betreft de prestatie-indicator bereikbaarheid. De negatieve baat verkeersveiligheid is hierbij echter een tegenhanger.

Tabel 44. Resultaat MKBA – Kruis-pijl – A10

Resultaten MKBA Type maatregel	A10 Kruis-Pijl	Uitvoeringsmaatregelen			
		500 m	1000 m	1500 m	
Kosten (*1000 €/jr)	Investering	€ 1.470	€ 735	€ 588	
	Onderhoud (per jaar)	€ 101	€ 51	€ 41	
Baten (*1000 €/jr)		€ 18.349	€ 18.339	€ 18.339	
NCW		€ 181.548	€ 182.765	€ 183.086	
IRR		1240%	2487%	3%	

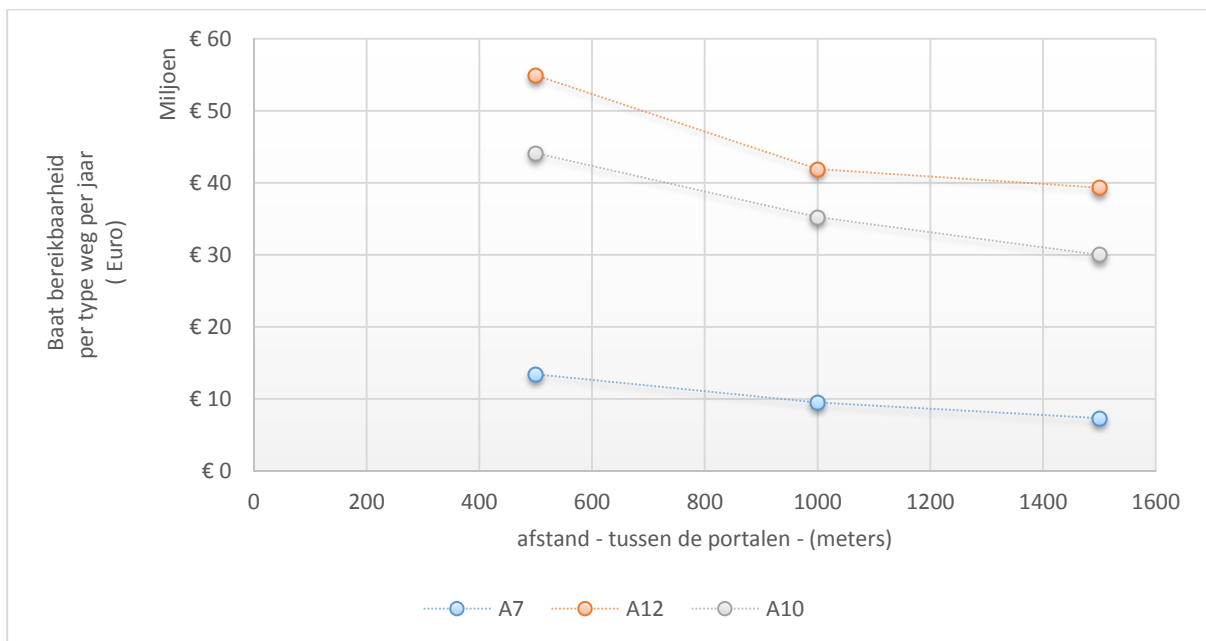
Voor de kruis-pijl geldt dat ook voor een drukker en kwetsbaar gebied de uitvoeringsmaatregel van 1500 m het voordeligst is.

6.4 Vergelijking van de resultaten AID

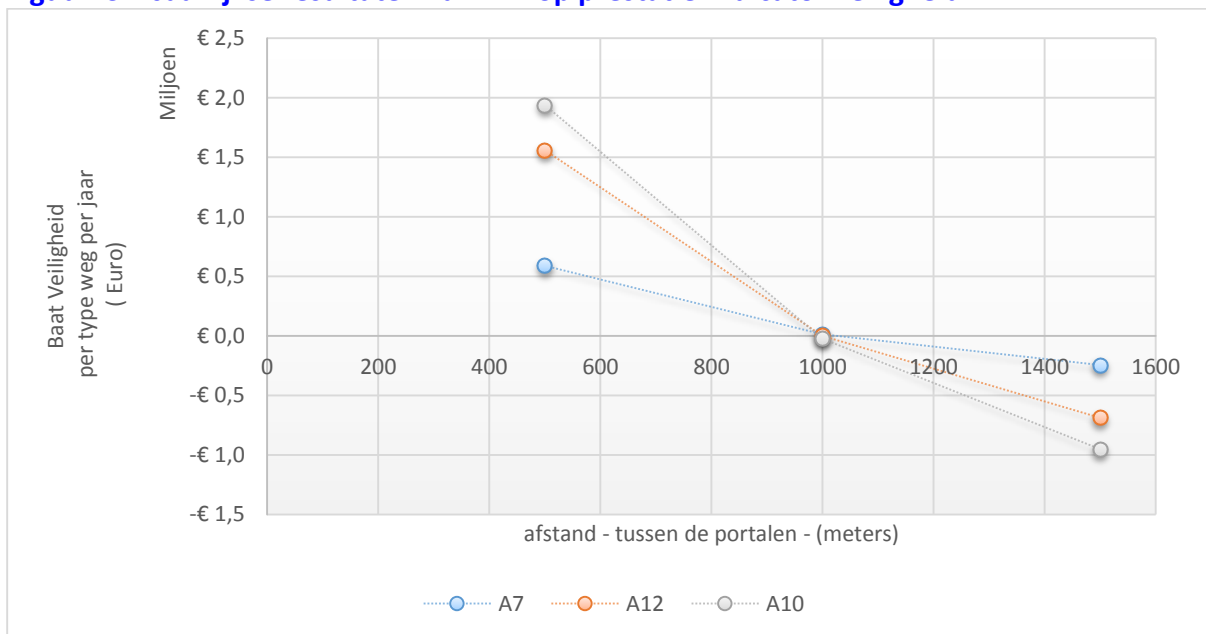
Aangezien uit de hierboven beschreven resultaten per onderzoeksgebied is gebleken dat de functionaliteit de meest positieve baten oplevert (ook in NCW zoals blijkt uit de MKBA) worden hier nog eens de specifieke resultaten AID uiteengezet voor de verschillende scenario's.

Zoals eerder al bleek, is de verandering in bereikbaarheid, uitgedrukt in VVU's, als gevolg van de functionaliteit AID de belangrijkste positieve baat. Dit is duidelijk te zien in figuur 36 en 37, waarbij de verticale-as voor bereikbaarheid een factor tien verschilt met de X- as van Veiligheid.

Figuur 36. De baten van de prestatie-indicator bereikbaarheid voor de AID per onderzoeksgebied



Figuur 37. Jaarlijkse resultaten van AID op prestatie-indicator veiligheid



In het algemeen geldt dat bereikbaarheid bij de functionaliteit AID voor de 500m en 1000m een groter verschil in baten oplevert dan voor een uitvoeringsmaatregel (1000m en 1500m). In figuur 36 en figuur 37 is de afname in effectiviteit van AID voor de drie onderzoeksgebieden weergegeven. De prestatie-indicator veiligheid heeft op alle drie de onderzoeksgebieden een negatieve baat bij de uitvoeringsmaatregel 1500m.

De verschillen in de baat bereikbaarheid kunnen het gevolg zijn van een andere spitsverdeling over de dag, waarbij er over een langere tijdperiode file staat op de A12. Dit

resulteert in hogere voertuigverliesuren. De A10 heeft wel twee keer zoveel kwetsbare weggedeelten, maar dit lijkt geen grote invloed te hebben. Dit zou betekenen dat het verschil tussen uur-intensiteiten (piek- en dalmomenten) een grotere invloed heeft dan de kwetsbare weggedeelten. Dit is gebaseerd op de informatie verkregen uit paragraaf 6.2. en figuur 36. Dus wellicht is de effectiviteit van matrixborden hoger voor wegen waarbij intensiteitsverschillen groot zijn ten opzichte van wegen waarbij een onderscheid naar kwetsbare gebieden wordt gemaakt.

De verschillen tussen de onderzoeksgebieden voor wat betreft de baat veiligheid zijn:

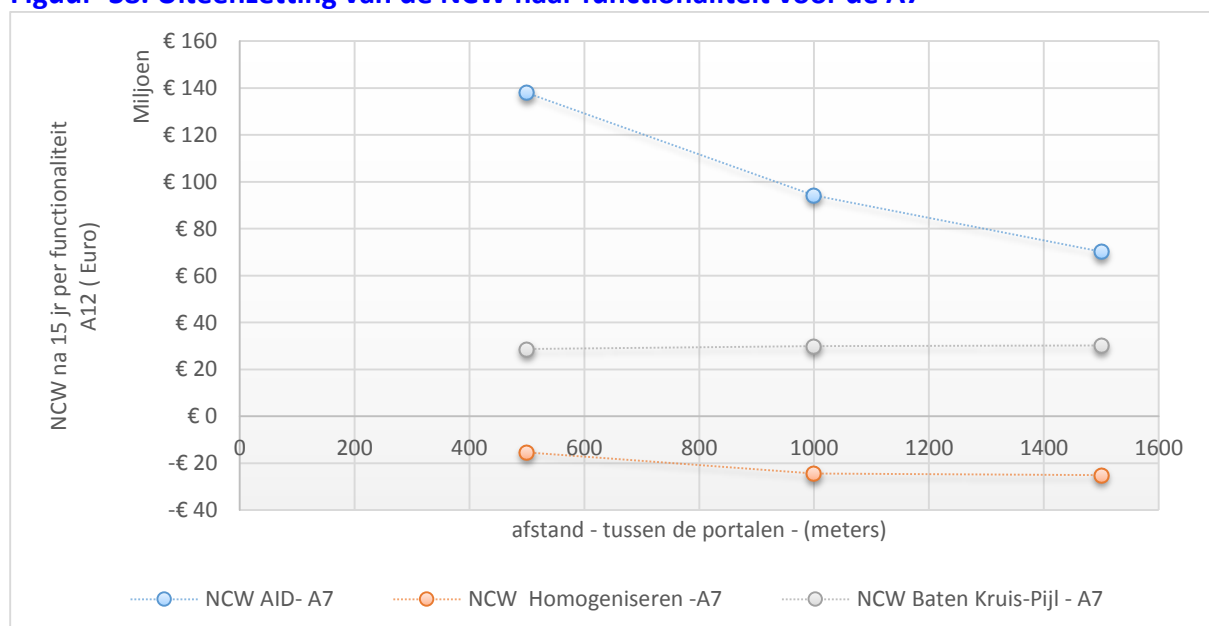
- Vergelijking van de resultaten van de A7, A10 en A12 laat zien dat de veiligheid sneller afneemt voor de A10 en A12. Dit is te verklaren doordat de etmaalintensiteit (mtv/etmaal) verandert of dat veiligheid sterk afhankelijk is van het aantal kwetsbare weggedeeltes.
- Vergelijking tussen de A10 en A12 laat zien dat voor een uitvoeringsmaatregel 500m de baat veiligheid op de A12 hoger is dan op de A10. Voor de uitvoeringsmaatregel 1000m is de afname groter op de A10. De baten worden voor beide wegen (A10 en A12) dan negatief, terwijl voor de A7 de baat bij 100m nog positief is. Het resultaat op veiligheid wordt bij een uitvoeringsmaatregel van 1500m zeer negatief. Een verklaring zou kunnen zijn dat veiligheid in sterke mate afhankelijk is van het aantal kwetsbare weggedeelten wanneer de afstand tussen de portalen groter wordt.

6.5 Algemene vergelijking resultaten

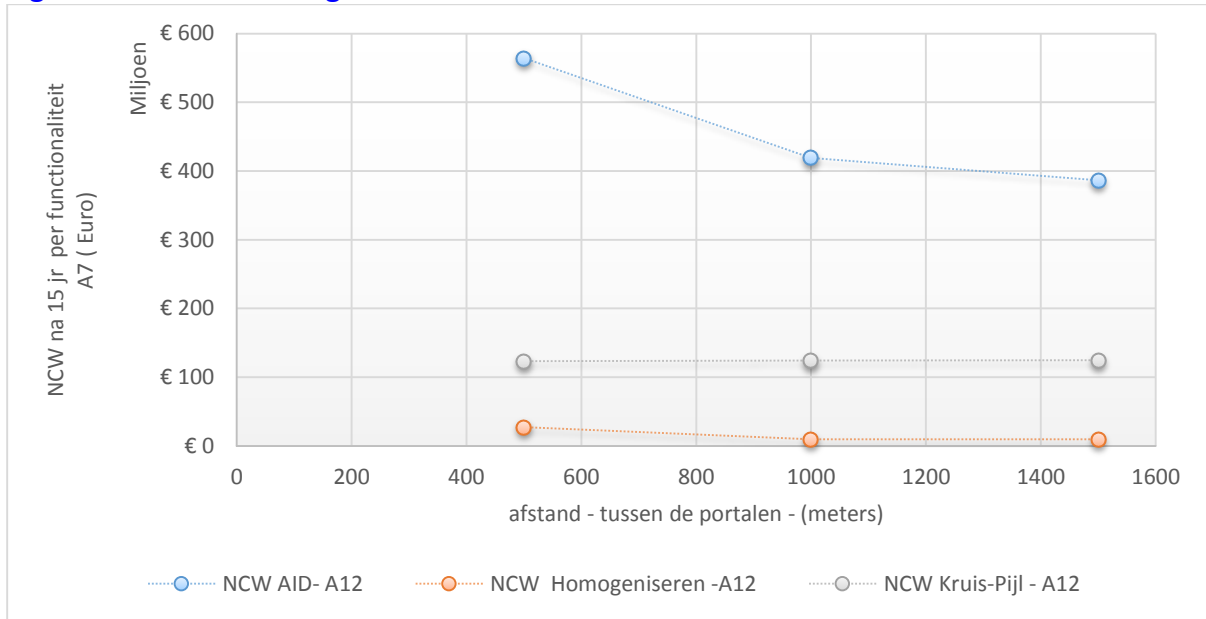
In deze paragraaf worden de algemene resultaten gepresenteerd voor de functionaliteiten per type onderzoeksgebied.

6.5.1 Vergelijking van resultaten per functionaliteit

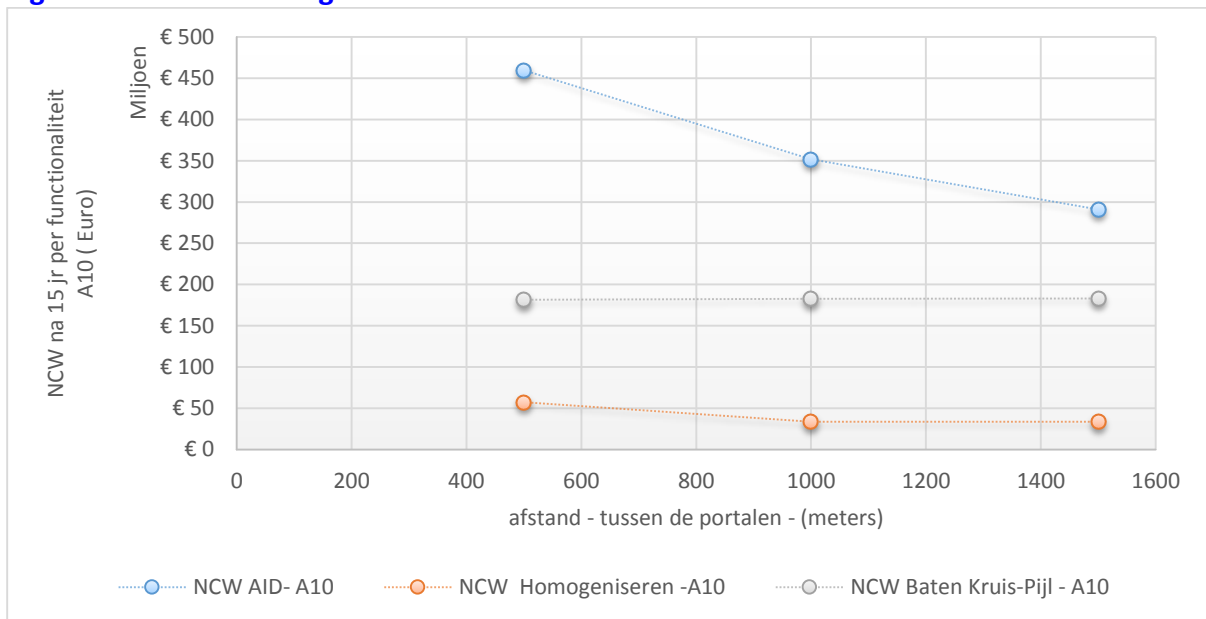
Figuur 38. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A7



Figuur 39. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A12



Figuur 40. Uiteenzetting van de NCW naar functionaliteit voor de A10

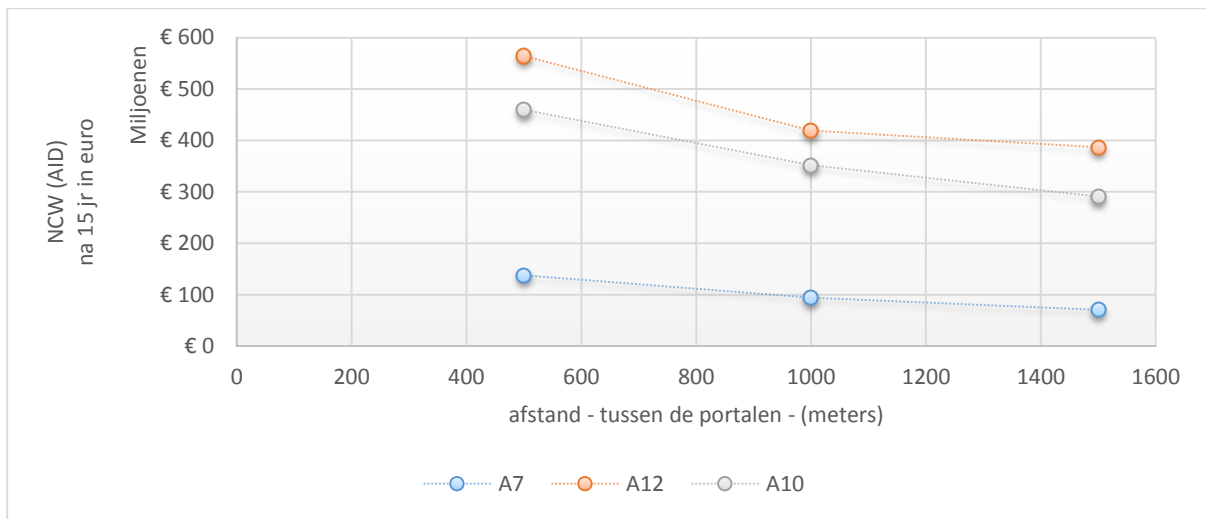


De volgende conclusies met betrekking tot de functionaliteiten kunnen worden getrokken:

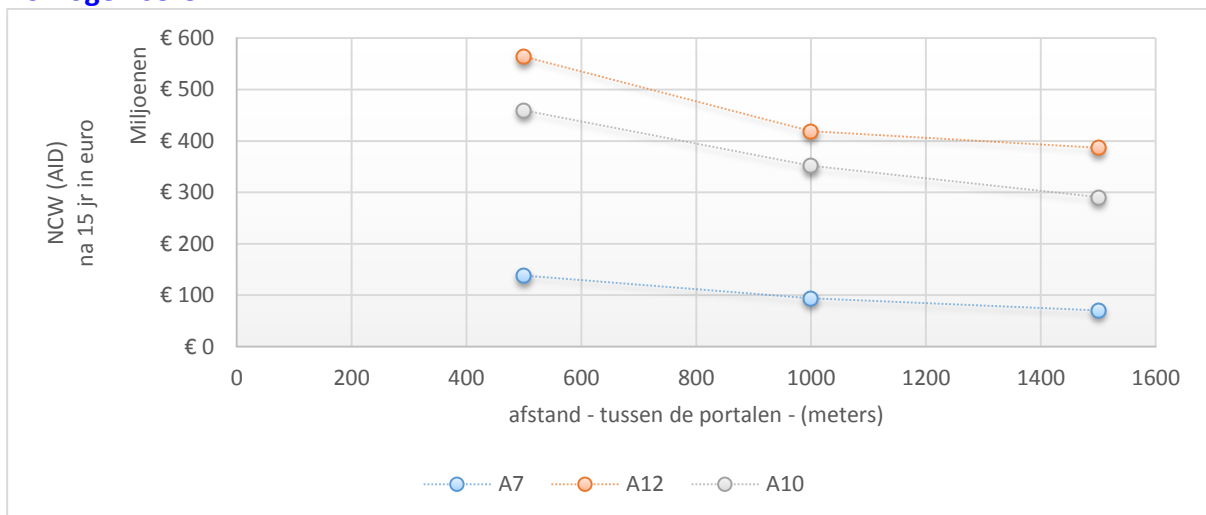
- Homogeniseren levert een lage op zelfs negatieve monetaire baat op voor de onderzochte weggedeelten. Het effect op de baten is een stuk kleiner dan de andere maatregelen en kan zelfs negatief zijn. Tevens is homogeniseren de enige functionaliteit waarbij een investering in matrixborden een negatieve kasstroom oplevert op type B wegen. Dit zijn wegen waarbij het aantal kwetsbare weggedeeltes beperkt is en de intensiteit over het algemeen lager is dan op een categorie C of D weg (zie uitleg bijlage 9).

- De functionaliteit AID levert de meest positieve bijdrage in termen van NCW na 15 jaar. Een investering in AID levert dus grote winst op in termen van bereikbaarheid en veiligheid (dit varieert tussen 70 miljoen en 564 miljoen Euro). Uiteraard zijn dit resultaten op basis van een prototype modelstudie, waarbij aannames zijn gemaakt voor de simulaties. Hierdoor zijn afwijkingen mogelijk van de realiteit. Het gaat in deze analyse met name om de relatieve verschillen in effecten. Deze verschillen zijn, ondanks de soms zeer hoge baten, zeer duidelijk en van belang.
- De uitvoeringsmaatregel 500m is niet per definitie de uitvoeringsmaatregel met de hoogst positieve bijdrage. Per functionaliteit is dit anders. De uitvoeringsmaatregel 500m is voor de AID het gunstigste. Dit heeft te maken met de grote (negatieve) veranderingen op verkeersveiligheid. Voor deze functionaliteit blijven de baten wel steeds positief.
- Voor de functionaliteit homogeniseren zijn zowel de uitvoeringsmaatregelen 1000m en 1500m ongunstig. Het verschil, uitgedrukt in NCW, tussen de 1000m en 1500m is nihil. Dit heeft te maken met de beperkte veranderingen in effecten op verkeersveiligheid. De afname in NCW van de 500m naar de 1000m maatregel komt voort uit de veranderingen van voertuigverliesuren uit het I/C model. De conclusie is dat, zodra de afstand tussen portalen toeneemt t.o.v. 500m, de automobilisten meer voertuigverliesuren oplopen doordat over een langere afstand een snelheidsbeperking geldt. Automobilisten rijden over een langere periode een gemiddeld genomen lagere snelheid. Als deze relatie wordt doorgetrokken naar veiligheid, waarbij 'hypothetisch' verondersteld wordt dat (wanneer de gemiddelde snelheid over een langere afstand lager wordt) de verkeersveiligheid zal toenemen doordat een homogener verkeersbeeld ontstaat valt dit effect op verkeersveiligheid tegen. Uit de resultaten blijkt dat verkeersveiligheid toeneemt, maar slechts in zeer beperkte mate. Kortom, homogeniseren heeft een tegengestelde werking van het beoogde doel van homogeniseren (zie bijlage 2). Ten eerste nemen voertuigverliesuren toe, terwijl dit (op de totale som aan file uren) zou moeten afnemen. In bijlage 2 is namelijk uitgelegd dat homogeniseren is ingevoerd om file uit te stellen en een homogener verkeersbeeld te ontwikkelen. Ten tweede, is er een negatief effect op verkeersveiligheid wanneer afstanden tussen de portalen wordt vergroot.
- Op basis van de resultaten blijkt de kruis-Pijl weinig in baten te veranderen over gedifferentieerde afstanden tussen portalen. Een toename van de afstand tussen portalen voor de functionaliteit kruis-pijl is dus gunstig, vanwege lagere (investerings)kosten. De vraag blijft echter of matrixborden wel nodig zijn wanneer er alleen gekeken wordt naar de functionaliteit kruis-pijl.

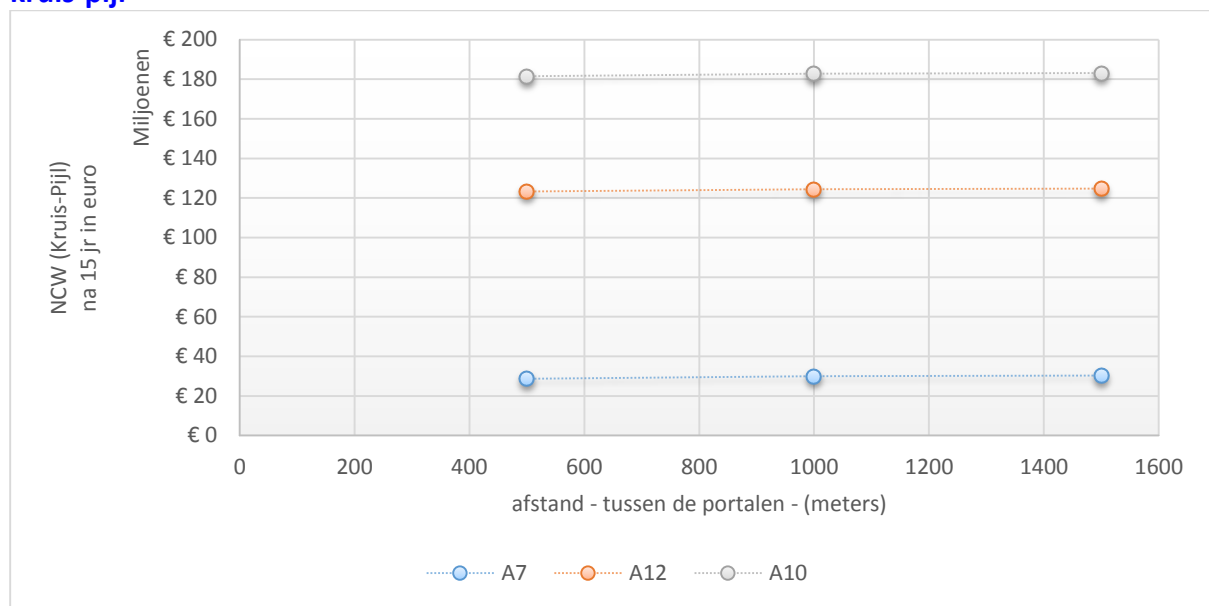
Figuur 41. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit AID



Figuur 42. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit homogeniseren



Figuur 43. Uiteenzetting van de NCW voor de verschillende rijkswegen per functionaliteit kruis-pijl

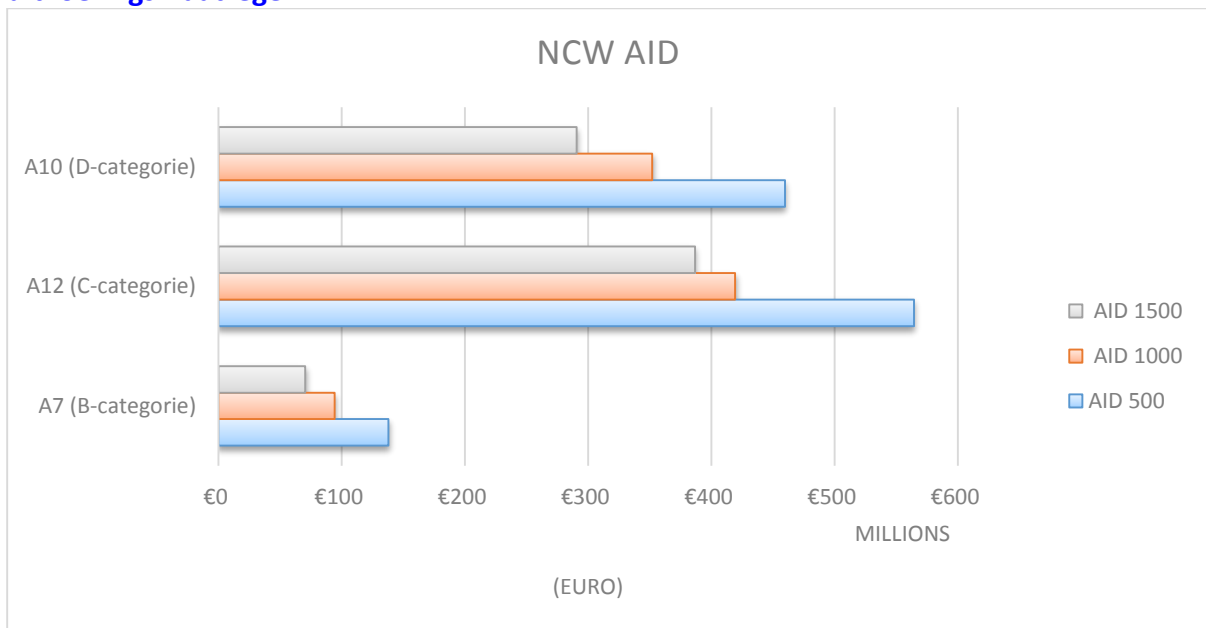


6.5.2 Vergelijking van resultaten per type onderzoeksgebied

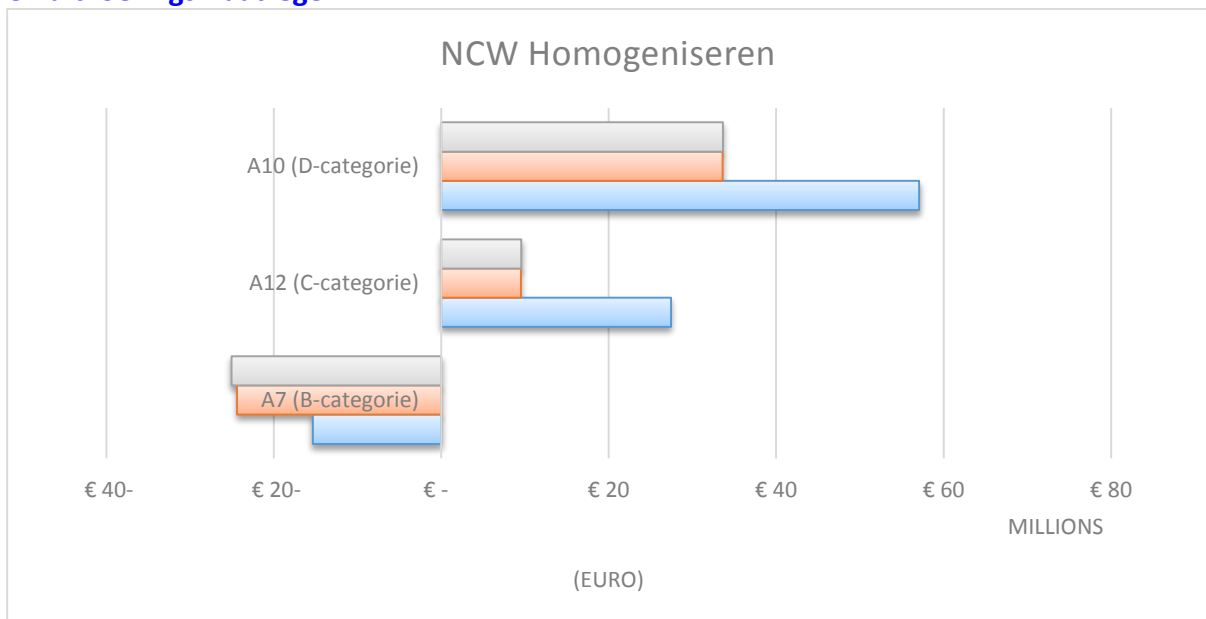
- De functionaliteit AID heeft het meeste effect voor de A12, categorie C weg, zie figuur 41. Dit heeft te maken met de onveiligheid die evenredig toeneemt met het aantal kwetsbare weggedeeltes. Dit is gebaseerd op de bevindingen dat de A10 minder voertuigverliesuren heeft met een lagere NCW voor de functionaliteit AID.
- Homogeniseren levert de grootste NCW op voor de A10. Wegen met relatief weinig voertuigverliesuren hebben minder baat bij het homogeniseren van de verkeersstroom. Daarentegen leveren matrixborden op wegen met weinig voertuigverliesuren en juist veel kwetsbare gebieden de grootste positieve bijdrage. Dit blijkt op basis van een lagere VVU gehalte van de A10 en een minder grote afname van de baten verkeersonveiligheid ten opzichte van de 500m uitvoeringsmaatregel.
- De kruis-pijl functie van matrixborden heeft een positieve bijdrage aan het aantal secundaire verkeersongevallen. Dit blijkt uit de resultaten waarbij de NCW voor kruis-pijl positief en redelijk hoog is. De kruis-pijl functionaliteit wordt alleen ingezet voor het afsluiten van een rijstrook., Daardoor heeft het geen baat, of negatieve baat, voor de bereikbaarheid.

Voor de functionaliteit kruis- pijl op wegen met respectievelijk meer kwetsbare weggedeelten neemt de effectiviteit van de kruis-pijl eerder en sterker af wanneer de afstand tussen portalen groter wordt. Dit blijkt uit de NCW waarde die bij de A7 gelijk blijft, bij de A12 vanaf de uitvoeringsmaatregel 1500m afneemt en bij de A10 al bij 1000 m afneemt.

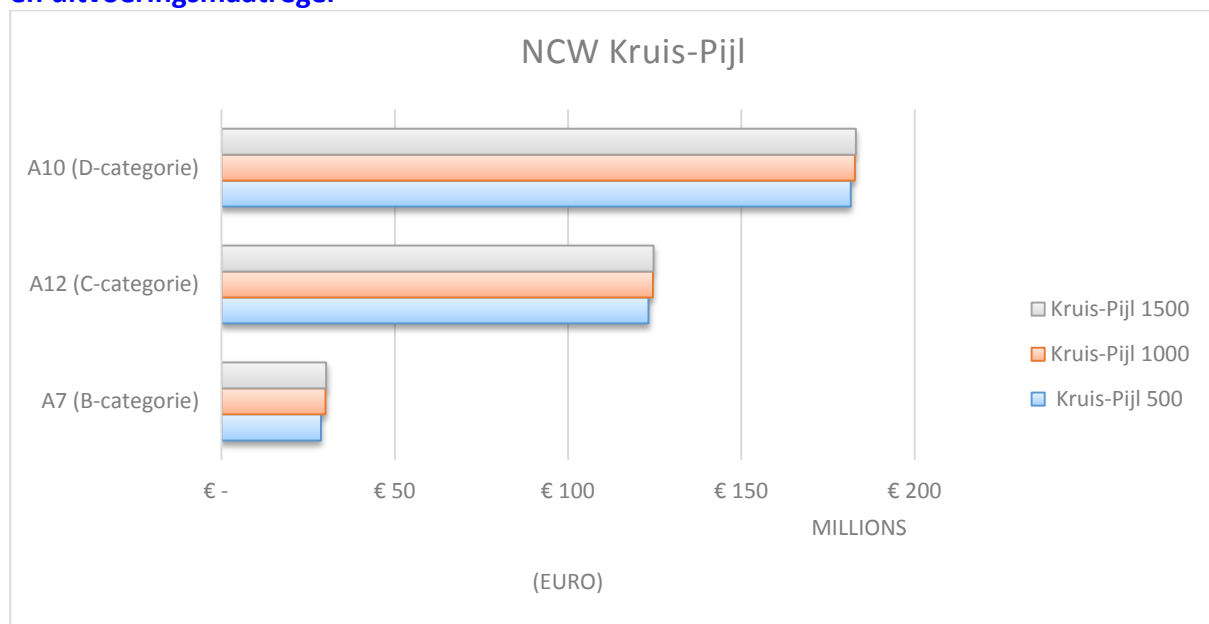
Figuur 44. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor AID naar type weg, en uitvoeringsmaatregel



Figuur 45. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor homogeniseren naar type weg, en uitvoeringsmaatregel



Figuur 46. Totaal overzicht van NCW gedifferentieerd voor homogeniseren naar type weg, en uitvoeringsmaatregel



6.5.3 Vergelijking van resultaten naar functionaliteit

De figuren 44, 45 en 46 beschrijven de verschillende NCW waarden voor de uitvoeringsmaatregelen, waaruit de volgende resultaten volgen:

- De effectiviteit van de matrixborden (gebaseerd op de NCW) wordt het minst beïnvloed bij drukke wegen. Kortom, AID heeft een positief effect, vooral voor de uitvoeringsmaatregel van 500m. Echter uitvoering over 1000 m blijkt (ondanks een afname in NCW waarde) nog steeds 75% van de baten (t.o.v. de 500 m) op te leveren. Bij de A7 is dit respectievelijk 68%.
- Wanneer de uitvoeringsafstanden gedifferentieerd worden naar 1500m blijkt de NCW nog steeds positief te zijn in de meeste gevallen. Desalniettemin treedt er wel een verandering op in relatie tot de procentuele bijdrage van de baten ten opzichte van de NCW voor verschillende type wegen.
- Met betrekking tot de functionaliteit kruis-pijl blijkt dat een investering in matrixborden over een afstand van 1500m het meeste baat oplevert. Dit heeft voornamelijk te maken met de kosten die hierbij sterk afnemen.

6.6 Resultaten gevoeligheidsanalyse

Voor de inputwaarden verkregen uit de Expert Elicitation, zijn de waarden uit de distributieverdelingen toegepast (bijlage 7). Hierbij zijn uit de 500 runs waarden getrokken uit een triangelair verdeling (verkregen uit de Expert Elicitation) per inputvariabelen. Ten tweede zijn over de procentuele verhouding van weggebruikers (VOT) triangelair verdelingen gemaakt, waarbij het minimum en het maximum met een -20% en 20% spreiding is getest.

Voor de inputwaarden verkregen uit de Expert Elicitation, zijn de waarden uit de distributieverdelingen toegepast (bijlage 7). Hierbij zijn uit de 500 runs waarden getrokken uit een triangulaire verdeling (verkregen uit de Expert Elicitation) per inputvariabelen – (1) bereikbaarheid en (2) veiligheid. Vervolgens zijn over (3) de procentuele verhouding van weggebruikers (VOT) triangulaire verdelingen gemaakt, waarbij het minimum en het maximum met een -20% en +20% spreiding is getest.

Gevoeligheid op de Bereikbaarheid

Uit literatuuronderzoek en de effectstudies is gebleken dat het effect op de stochastische variabele capaciteit erg lastig te bepalen is (hoofdstuk 2 en 3). Voor dit onderzoek is deze stochast een belangrijke parameter, omdat deze variabele voor een groot deel de effecten en daarmee de baten van de matrixborden bepaalt. Dit wordt tevens ondersteund door tabel 45, waarin de afhankelijkheden m.b.t. bereikbaarheid gevisualiseerd zijn. In dit figuur laat de eerste rij de invloed van de capaciteit op de bereikbaarheid zien [min;max]. Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden, zoals verwacht, dat de capaciteit de meest afhankelijke variabele is voor de bereikbaarheid. Een verandering in de capaciteit heeft veel effect op de voertuigverliesuren en dit geldt voor alle drie de onderzoeksgebieden. Tabel 46 geeft de absolute en relatieve verandering van de NCW waarde die verkregen is uit de gevoeligheidsanalyse. Uit deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat het ondersteunend beslismodel sterk afhankelijk is van de inputwaarden van de capaciteit.

Tabel 45. Effect van inputvariabelen op de totale kosten

Verandering voor inputwaarden op Totale kosten / miljoen € /jaar				
Rank	Name	Lower	Upper	
1	Capaciteit AID 500m	€ 30	€ 76	
2	Totale verkeersongevallen AID	€ 43	€ 51	
3	Opvolgedrag 100	€ 44	€ 52	
4	Capaciteit Homogeniseren 1500m	€ 44	€ 51	
5	Secundaire verkeersongevallen Homogeniseren 1000	€ 44	€ 52	
6	VOT Zakelijk / Motief	€ 45	€ 52	
7	Capaciteit Homogeniseren 1000m	€ 44	€ 52	
8	Secundaire verkeersongevallen AID	€ 44	€ 52	
9	Capaciteit AID 1000m	€ 46	€ 53	
10	Totale verkeersongevallen Homogeniseren	€ 44	€ 51	

Tabel 46. Gevoeligheidsanalyse capaciteit op prestatie-indicator bereikbaarheid

Meetwaarde	Effect van capaciteit (minimum (-100%))		Effect van capaciteit (gemiddelde)		Effect van capaciteit (maximum (+ 48%))	
	NCW (€ * 10 ⁴)	%	NCW (€ * 10 ⁴)	%	NCW (€ * 10 ⁴)	%
AID-500 B weg	€ 5.070	-64%	€ 14.000	0,0%	€ 22.540	61%
AID-500 C weg	€ 25.850	-52%	€ 53.750	0,0%	€ 72.320	34%
AID-500 D weg	€ 13.900	-75%	€ 53.750	0,0%	€ 63.900	19%

Gevoeligheid op de Veiligheid

De prestatie-indicator veiligheid is ook getest op gevoeligheid. Bij het bepalen van het aantal ongevallen op een werkdag zijn de verschillende effecten waaruit de prestatie-Indicator is opgebouwd geanalyseerd:

- Intensiteit (aantal voertuigkilometer);
- Totale verkeersongevallen (AID);
- Secundaire verkeersongevallen (AID).

De inputvariabelen die het meeste effect hebben op het resultaat totale ongevals-kosten (per werkdag) zijn:

- 1) De inputvariabele: “Het effect van AID op het totale aantal verkeersongevallen”;
- 2) De inputvariabele: “Kans op ongevallen per miljoen voertuigkilometer”.

Uit de 500 iteraties zijn de ranges gevonden van deze twee effecten, zie tabel 18. In bijlage 9 zijn ondersteunende figuren geplaatst die uit de analyse met @risk komen.

De prestatie-indicator ‘verkeersveiligheid’ is gevoelig voor veranderingen in (1) “het effect van AID op het totale aantal verkeersongevallen” van matrixborden. Het effect van matrixborden op de prestatie-indicator ‘verkeersveiligheid’ voor de verschillende onderzoeksgebieden gelijk. De procentuele verschillen door veranderingen in de inputwaarde liggen dan ook nauw bij elkaar. Voor de tweede variabele “kans op ongevallen per miljoen voertuigkilometer” geldt een uniforme verdeling waarbij de waarde met 20% toe- en afneemt. Hier is te zien dat de gevoeligheid groter is bij wegen die behoren tot de B-categorie. De toe- en afname blijft bovendien vrijwel gelijk (lineair) voor de B- en D-categorie wegen. De C-wegcategorie; de weg met de hoogste intensiteit en ‘lagere capaciteit’, heeft het grootste effect – in vergelijking met de andere twee wegen – op het baat verkeersveiligheid. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de procentuele sterkere toename op de baten bij een C-weg te verklaren zijn door de hogere kans op ongevallen in spitsuren. De C-weg heeft namelijk het vaakst hoge I/C-waarden waardoor er hogere kansen op ongevallen worden toebedeeld, zie tabel 13 (voor de kansverdeling in de spits).

Tabel 47. Resultaten gevoeligheidsanalyse totale ongevallen – AID - op veiligheid

Wegtype / waarde	Minimum (-10%)		Gemiddelde		Maximum (+32%)	
	Baten (€ * 10 ³)	%	Baten (€ * 10 ³)	%	NCW (€ * 10 ³)	%
B-weg: A7	141	-22%	€ 655	0,0%	141	+21%
C-weg: A12	196	-21%	€ 955	0,0%	160	+17%
D-weg: A10	239	-20%	€ 1.150	0,0%	230	+20%

Tabel 48. Resultaten gevoeligheidsanalyse van kans op ongevallen op kosten

Wegtype / waarde	Minimum (-20%)		Gemiddelde		Maximum (+20%)	
	Baten ((€ * 10 ³)	%	Baten (€ * 10 ³)	%	Baten (€ * 10 ³)	%
B-weg: A7	78	-12%	€ 655.000	0,0%	78	+12%
C-weg: A12	94	-9,8%	€ 955.000	0,0%	105	+11%
D-weg: A10	103	-8,9%	€ 1.150.000	0,0%	102	+9%

Gevoeligheid op verdeling verkeersamenstelling (VOT)

De Value of Time (VOT) die toegepast wordt binnen het onderzoek, is niet direct afkomstig uit literatuur. In de literatuur zijn de VOT waarden voor verschillende types verkeer afzonderlijk weergegeven. Daarom is afhankelijk van de verkeerssamenstelling op de rijkswegen een gewogen gemiddelde genomen voor de VOT (zie bijlage 8 voor een gedetailleerde beschrijving). Dit betekent dat de gekozen VOTs (€ 16,61/uur voor een werkdag en € 11,96/ uur voor een weekenddag) relatief onzeker zijn. Derhalve is een gevoeligheidsanalyse over deze verkeerverdeling toegepast. Hierbij wordt de verdeling van elk van de vier type weggebruikers verhoogd en verlaagd met 20%. In bijlage 9 staan de effecten op de MKBA nadat de gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd.

De VOT wordt beïnvloed door de verkeerssamenstelling. Uit de verdeling van de verkeerssamenstelling kan geconcludeerd worden dat voor de VOT- werkdag de waarde variëren tussen de € 17,8 /uur en € 19,4/uur verschillen. Voor een weekenddag ligt de VOT verdeling tussen € 12/uur en € 13/uur. In vergelijking met de VOT die gebruikt is in het model blijkt de VOT bij het variëren van de verkeerssamenstelling sterk afhankelijk te zijn van het vrachtverkeer. Dit is tevens te zien in bijlage 9. Waarin het figuur (dat lijkt op een tornado) de beïnvloeding van de parameters weergeeft. De VOT is op deze manier ook voor de overige twee wegen (C en D weg) bepaald. Zie bijlage 9 voor meer informatie.

Tabel 49. Verdeling van de VOT voor werk- en weekenddag

VOT werkdag	Waarde	VOT Weekenddag	Waarde
Minimum	17,08	Minimum	12,22
Maximum	20,14	Maximum	14,45
Mean	18,54	Mean	13,48
Standaard deviatie	0,49	Standaard deviatie	0,39
p-85%	18,93	p-85%	13,85

6.7 Tussentijdse conclusie

In 6.5 zijn de resultaten al vergeleken per type onderzoeksgebied, functionaliteit en naar uitvoeringsmaatregel en deze worden hier samengevat.

De tabellen 50, 51 en 52 vatten voor de drie functionaliteiten de kosten en baten en de Netto Contante Waarde (NCW) samen. Hierbij wordt ook onderscheid gemaakt tussen de uitvoeringsmaatregelen 500m, 1000m en 1500m.

Tabel 50. Overzicht kosten- baten AID

AID	500m	1000m	1500m
Investeringskosten	1.500.000	700.000	600.000
Jaarlijkse kosten voor onderhoud	100.000	50.000	40.000
Jaarlijkse baten (Euro in miljoenen)	[14; 56]	[10 ;42]	[7;38]
NCW (Euro in miljoenen)	[138; 564]	[94;420]	[70;387]

Tabel 51. Overzicht kosten- baten homogeniseren

Homogeniseren	500m	1000m	1500m
Investeringskosten	1.500.000	700.000	600.000
Jaarlijkse kosten voor onderhoud	100.000	50.000	40.000
Jaarlijkse baten	[-1,8; 6]	[-2,3 ;4,2]	[-2,4;3,4]
NCW	[-15;57]	[-23;34]	[-25;34]

Tabel 52. Overzicht kosten- baten kruis-pijl

Kruis-pijl	500m	1000m	1500m
Investeringskosten	1.500.000	700.000	600.000
Jaarlijkse kosten voor onderhoud	100.000	50.000	40.000
Jaarlijkse baten	[5,1; 18,5]	[3,1 ;18,3]	[3,18,3];
NCW	[28;30]	[123;124]	[30;183]

De NCW die volgt uit de analyses voor de verschillende interventies van matrixborden varieert tussen -25 en +564 miljoen euro voor een periode van 15 jaar, zoals blijkt uit bovenstaande tabellen.

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op de prestatie-indicatoren bereikbaarheid, veiligheid en tenslotte op de Value Of Time. De gevoeligheidsanalyse geeft aan dat het beslismodel sterk afhankelijk is van de inputwaarden van de capaciteit. De prestatie-indicator veiligheid wordt voornamelijk beïnvloed door het effect van matrixborden op de toe-en afname van het totale aantal ongevallen. De inputvariabelen die een matig effect hebben op de totale ongevalskosten (per werkdag) zijn:

- 1) De inputvariabele: “Het effect van AID op het totale aantal verkeersongevallen”;
- 2) De inputvariabele: “Kans op ongevallen per miljoen voertuigkilometer”.

Tot slot varieert de VOT voornamelijk door het aandeel vrachtwagenverkeer. Dit ligt in de lijn der verwachting aangezien de kosten voor een uur vertraging voor een vrachtwagen relatief hoog zijn in verhouding met de drie andere vervoerstypen, namelijk woon-werk verkeer, zakelijk en overig.

Conclusies, aanbevelingen en reflecties

HOOFDSTUK 7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een ‘Excel-based’ ‘prototype ondersteunend beslismodel’, om rationele besluitvorming over investeringen in versterking van netwerkprestaties van de rijkswegen te kunnen bevorderen. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de hoofdonderzoeksvraag, die in drie delen is gesplitst (zie hoofdstuk 1).

Na de presentatie van de conclusies volgt een reflectie op die resultaten. Vervolgens worden aanbevelingen gepresenteerd ten aanzien van de onderzoeksmethodiek en voor vervolgonderzoek. Tenslotte wordt er ook een advies gegeven aan verschillende belanghebbende partijen.

Voor de volledigheid wordt herhaald dat de effecten van matrixborden betrekking hebben op bereikbaarheid en veiligheid. De effecten zijn gemeten voor 9 interventies. Dit zijn combinaties van verschillende uitvoeringsmaatregelen (tussenafstand van matrixportalen) voor verschillende functionaliteiten van matrixborden (AID, Homogeniseren en Kruis-pijl) op drie onderzoeksgebieden (een B, C, D categorie rijksweg). Zo ontstaan in totaal 27 uitvoeringsscenario's.

7.1 Effecten van matrixborden

Een antwoord wordt geformuleerd op de volgende onderzoeksvraag aan de hand van de bevindingen in eerdere hoofdstukken:

1. Wat zijn (onzekerheden omtrent) effecten van matrixborden voor verschillende beleidsuitvoeringen?

Conclusie 1: Matrixborden hebben overwegend positieve effecten op bereikbaarheid en veiligheid. De effecten zijn lager bevonden dan aangenomen in de literatuur. Tevens zijn de onzekerheden omtrent de effecten afgenomen.

Tabel 53 beschrijft de effecten die beschreven zijn in wetenschappelijke en op de praktijk gebaseerde studies. Hierin is te zien dat de waarden voor de capaciteit sterk uiteen lopen van +1% toename tot 15% toename. De effecten van matrixborden op zowel de totale als de secundaire verkeersongevallen wijzen op een afname in het aantal verkeersongevallen. Hierbij lopen de gevonden waarden respectievelijk uiteen tussen de [-30;-15]% en [-50; -7]%

Tabel 53. Effecten op basis van wetenschappelijke en op de praktijk gebaseerde effectstudies

Effecten	Spreiding
Capaciteit	[+ 1; +15] %
Totaal aantal verkeersongevallen*	[-30;-15] %
Secundaire verkeersongevallen*	[-50; -7] %

*Een negatieve waarde duidt op een afname in verkeersongevallen

De onzekerheidsanalyse, Expert Elicitation, leidde tot de volgende bevindingen die in de tabellen 54, 55 en 56 zijn gepresenteerd.

Tabel 54. Effecten van matrixborden op de capaciteit

Capaciteit	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	+3,5 %	[0;+7,5]%	+2,4%	[0; +5]%	+1,9%	[-3,1;+5]%
Homogeniseren	+0,1%	[-2,2;+1]%	+0,1%	[-3,8;+1]%	+0,1%	[-3,8;+0,9]%
Kruis-pijl	Niet van toepassing		Niet van toepassing		Niet van toepassing	

Tabel 55. Effecten van matrixborden op de totale verkeersongevallen

Totale verkeersongevallen	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	- 17%	[-31;-12]%	-15%	[-20;-3]%	-10%	[-15;+6,8]%
Homogeniseren	- 3%	[-13; 0]%	-2,6%	[-5;+0,2]%	-2,5%	[-5;+0,2]%
Kruis-pijl	Niet van toepassing		Niet van toepassing		Niet van toepassing	

Tabel 56. Effecten van matrixborden op secundaire verkeersongevallen

Secundaire verkeersongevallen	Mediaan _{500m}	Spreiding _{500m}	Mediaan _{1000m}	Spreiding _{1000m}	Mediaan _{1500m}	Spreiding _{1500m}
AID	- 36 %	[-47;-20]%	- 30%	[-40;-14]%	- 19%	[-30;-7]%
Homogeniseren	+ 0,1%	[-8; +0,2]%	+ 0,1%	[-6;+0,2]%	+ 0,1%	[-3;+0,3]%
Kruis-pijl	-46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-6]%	- 46%	[-60;-4]%

Uit deze analyse, die gebaseerd is op interviews met verkeersexperts, blijkt dat de verandering op de capaciteit lager is dan veelal wordt beschreven in effectstudies. Tabel 54 laat zien dat volgens de experts alleen de functionaliteit AID van matrixborden steeds een positief effect (groter dan 0,1%) heeft op de capaciteit. Desondanks neemt dit positieve effect af naarmate de afstand tussen de portalen toeneemt. De functionaliteit kruis-pijl wordt pas in werking gezet wanneer capaciteitsreductie plaatsvindt en daarom is het effect van kruis-pijl op de capaciteit niet meegenomen.

Ook met betrekking tot veiligheid heeft AID een positief effect op de veiligheid, doordat zowel het totaal aantal- als de secundaire verkeersongevallen reduceert. De functionaliteit Kruis-pijl heeft slechts invloed op de secundaire verkeersongevallen. Dit effect op de prestatie-indicator veiligheid blijft constant over verschillende afstanden en is relatief hoog (46%).

De conclusie is dat de functionaliteit AID het meest positieve effect heeft op zowel bereikbaarheid als veiligheid. De positieve effecten zijn het grootst voor de A12, categorie C- weg, en voor de portaalafstand 500m, maar blijven ook voor andere portaalafstanden positief. Homogeniseren heeft slechts een beperkt positieve effecten vooral op het totaal aantal verkeersongevallen, maar niet op bereikbaarheid. Dit komt doordat homogeniseren de gemiddelde snelheid van automobilisten verlaagd, met als doel de verkeersstroom te homogeniseren en verkeersongevallen te verminderen.

De functionaliteit kruis-pijl tenslotte heeft vooral een positief effect op vermindering van de secundaire verkeersongevallen, hoewel dit effect lastig te kwantificeren is door onder

andere beperkte registratiegraden van secundaire verkeersongevallen. Dit blijkt dit ook uit resultaat van de onzekerheidsanalyse die weergegeven zijn in tabel 56.

De resultaten die volgen uit de onzekerheidsanalyse beschrijven de onzekerheid van de drie functionaliteiten en zijn eveneens weergegeven in de drie bovenstaande tabellen. Daarbij is de spreiding van de onzekerheden voor capaciteit en de totale verkeersongevallen lager geschat dan in literatuurstudies is bevonden. De bevindingen voor wat betreft de secundaire verkeersongevallen komen in grote mate overeen met de beschreven effecten in literatuurstudies.

7.2 Maatschappelijke baten van matrixborden

Een antwoord wordt geformuleerd op de volgende onderzoeksvraag aan de hand van de bevindingen in eerdere hoofdstukken:

2. Wat zijn maatschappelijke baten van matrixborden met betrekking tot de netwerkprestaties van Rijkswegen in Nederland?

Conclusie 2: Het grootste deel van de positieve maatschappelijke baten van matrixborden is gerelateerd aan bereikbaarheid.

Uit de analyses op basis van het ondersteunend beslismodel blijkt dat voor een aantal uitvoeringsscenario's 80% a 90% van de totale baten is gerelateerd aan bereikbaarheid, voornamelijk capaciteit, hetgeen relatief hoog is. Dit betreft scenario's waarbij veel filevorming plaatsvindt en intensiteiten zeer hoog zijn. Dit heeft te maken met de verticale wachtrijtheorie die gekozen is voor de simulatie van de vertragingen die ontstaan door file. In het hoofdstuk reflectie worden de tekortkomingen van het verticale wachtrijmodel nader beschreven.

Baten prestatie-indicator bereikbaarheid

De baten van de prestatie-indicator bereikbaarheid voor de AID zijn voor alle drie de wegen positief: het meest positief voor de A12 en het minst positief voor de A7. De positieve baten nemen af naarmate de portaalafstand toeneemt. Dit is uiteraard in lijn met de uitkomsten van de Expert Elicitation. De maatschappelijk baten variëren voor de diverse rijkswegen, omdat invloeden van omgevingsfactoren (wegconfiguratie en intensiteit) een belangrijke rol spelen. Dit geldt vooral voor C en D-wegen. De A12 (C-weg) heeft niet alleen een hoge etmaalintensiteit, maar ook grote piekmomenten in dal- en spitsuren en een redelijk aantal kwetsbare weggedeeltes.

Aangezien volgens de experts homogeniseren nauwelijks effect heeft op de bereikbaarheid, zijn er ook nauwelijks of geen maatschappelijke baten van homogeniseren. Op wegen waarbij de gemiddelde dag-intensiteit laag is en kwetsbare weggedeelten beperkt zijn (de A7 in dit onderzoek), leidt homogeniseren zelfs tot negatieve baten. Dit is in lijn met de literatuur waarin het effect van homogeniseren vaak ter discussie wordt gesteld. De baten van de kruis-pijl functionaliteit beperken zich tot de verkeersveiligheid.

Baten prestatie-indicator veiligheid

AID leidt tot positieve baten op veiligheid wanneer de portaalafstand 500m is. Bij een portaalafstand van 1000m zijn de baten laag en deze worden negatief voor alle drie de onderzoeksgebieden bij een afstand van 1500m. Verder toont de analyse aan dat de veiligheidsbaten sneller afnemen voor de C (A12) en D-wegen (ringwegen-A10). Dit is te verklaren door de relatief hoge etmaalintensiteit op deze wegen. Tevens is veiligheid sterk afhankelijk van het aantal kwetsbare weggedeeltes dat eveneens hoog is op de A12 en A10. De kans op ongelukken op wegen met meer op- en afritten is immers hoger bevonden in literatuur. Dit zou ook een verklaring kunnen zijn voor de sterk negatieve veiligheidsbaten bij een portaalafstand van 1500m.

Homogeniseren blijkt voor alle drie de onderzoeksgebieden een negatief baat te hebben. Dit komt overeen met de lage effecten die geschat worden in de onzekerheidsanalyse en gepresenteerd zijn in de tabellen 54, 55 en 56.

De functionaliteit kruis-pijl heeft weliswaar een zeer hoog effect op vermindering van het aantal secundaire verkeersongevallen, maar in de modellering is de uiteindelijke baat relatief laag in vergelijking met de overige baten. Toch kan geconcludeerd worden dat kruis-pijl de grootste baten heeft op D-wegen (A10). Dit komt doordat de kans op ongevallen toeneemt bij veel op- en afritten.

De aanvullende conclusies met betrekking tot de maatschappelijke baten van matrixborden op verschillende netwerkprestaties van rijkswegen luiden als volgt:

- De meest positieve baten, met name op bereikbaarheid en in mindere mate op veiligheid, zijn gevonden voor de toepassing van gedifferentieerd beleid voor de AID op C-wegen (A12).
- De baten op de prestatie-indicator verkeersveiligheid verschillen sterk per rijksweg, maar vooral ook naar portaalafstand. De C-wegen (A12) en D-wegen (A10) hebben de meest positieve baten bij een portaalafstand van 500m en een verklaring daarvoor is het aantal kwetsbare weggedeeltes. Bij een portaalafstand van 500 m zijn voor alle wegen de baten positief en deze worden negatief bij een afstand van 1500m.
- De kruis-pijl leidt tot positieve baten vooral op D-wegen (A10) waar relatief veel op- en afritten zijn.

7.3 Verhouding kosten-baten

Een antwoord wordt geformuleerd op de volgende onderzoeksvraag aan de hand van de bevindingen in eerdere hoofdstukken:

3. Hoe verhouden de baten van beleidsuitvoeringen zich tot de kosten voor deze systemen?

Conclusie 3: De NCW varieert aanzienlijk per type rijksweg, per functionaliteit en per portaalafstand. De NCW is positief voor de meeste uitvoeringsscenario's, met uitzondering van homogeniseren op B-wegen (A7).

Conclusie 4: De baten zijn wellicht overschat en de kosten onderschat, waardoor de NCW uitkomsten te hoog kunnen zijn. Echter vooral de relatieve uitkomsten zijn van belang. Zo biedt de (soms zeer) positieve kosteneffectiviteit voor een groot aantal uitvoeringsscenario's een goede basis voor besluitvorming, terwijl vervolgonderzoek is aanbevolen.

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende wegtypes

Conclusie 5: De kosteneffectiviteit van matrixborden, in termen van NCW, is het meest positief voor 'C-wegen' (A12). Dit zijn (vaak) verbindingswegen tussen grote steden, waarbij op- en afritten en weefvakken om de 800m à 1000m aanwezig zijn.

Conclusie 6: Wegen met flinke pieken en dalen in etmaalintensiteit, in het bijzonder categorie C-wegen, zijn zeer gevoelig voor veranderingen van portaalafstanden. Zo blijkt dat wanneer AID over een 1000m maatregel wordt geplaatst dit tot een groter verschil in baten leidt op de A12(C-weg) dan op de A10 (D-weg).

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende functionaliteiten

Conclusie 7: De functionaliteit AID levert de meest positieve bijdrage in termen van NCW na 15 jaar. Een investering in AID levert dus, in principe, grote winst op in termen van bereikbaarheid en veiligheid (dit varieert tussen 70 miljoen en 564 miljoen Euro), waarbij de meest positieve resultaten voor de A12 gevonden zijn. Ook op D-wegen (A10) is de NCW hoog.

Conclusie 8: De functionaliteit homogeniseren levert slechts beperkte positieve bijdrage in termen van NCW voor de A12 en de A10 en wordt negatief voor de A7. De bijdrage van homogeniseren is relatief laag en soms negatief, vanwege de negatieve baat verkeersveiligheid.

Conclusie 9: De functionaliteit kruis-pijl levert een constante positieve bijdrage in termen van NCW vooral voor de A12 en de A10 (C- en D wegen), ongeacht de portaalafstand.

Conclusies met betrekking tot kosteneffectiviteit voor verschillende portaalafstanden

Conclusie 10: Een portaalafstand van 500m leidt in de meeste uitvoeringsscenario's tot een hoge NCW. Een portaalafstand van 1500m daarentegen leidt in alle gevallen tot een lagere NCW in vergelijking met portaalafstanden van 500m en 1000m.

7.4 Reflectie op methoden en resultaten

In deze sectie zullen de beperkingen van dit onderzoek nader worden toegelicht. Met behulp van het beslismodel kan een transparante analyse gemaakt worden van de kosten-baten verhouding voor de plaatsing van matrixborden met verschillende functionaliteiten op rijkswegen in Nederland. Er zijn echter wel enkele beperkingen van het model, die hier uiteengezet zullen worden. Tevens wordt gereflecteerd hoe de uitkomsten van dit onderzoek zich verhouden tot ander onderzoek.

7.4.1 Reflectie op gebruikte methoden

Onzekerheidsanalyse

De uitvoering en bevindingen van de Expert Elicitation zijn transparant en hebben bijgedragen aan vermindering van de onzekerheid over het effect van matrixborden op de verkeersstroom, die uit literatuuronderzoek is gebleken. De Expert Elicitation is een onzekerheidsanalyse, waarbij het bevragen en het vinden van 'experts' een selectief proces is gebleken, waarbij tijd een grote rol speelt. Er zijn weinig experts die tijd hadden om een bijdrage te leveren aan dit onderzoek. Desalniettemin kon een voldoende experts gevonden worden om deel te nemen aan de Expert Elicitation, waardoor de uitkomsten voldoende betrouwbaar zijn. Een uitbreiding van het aantal seed-variabelen om de betrouwbaarheid van de antwoorden van experts te testen zou overwogen kunnen worden.

Verticale wachtrijmodel met uitbreiding

Zoals gezegd is 80 à 90% van de totale baten gerelateerd aan de prestatie-indicator bereikbaarheid, voornamelijk capaciteit voor een aantal uitvoeringsscenario's. Dit betreft scenario's waarbij intensiteiten in spitsuren relatief hoog zijn t.o.v. de daluren. Door het modelleren van vertragingen in file door verticale wachtrijmodel worden verliesuren overschat. De overschatting heeft te maken met de selectie van de steekproeflocatie en de bepaling van de capaciteit. Waardoor de hoge inkomende stroom auto's bijdraagt aan een zeer snelle groei van file. De wachtrij neemt hierdoor erg snel toe waardoor automobilisten langere tijd 'in de file' staan doordat er met time-steps van 15 seconden een nieuwe wachtrij wordt gevormd. Anderzijds kan er verondersteld worden dat het verticale wachtrijmodel leidt tot onderschatting van de voertuigverliesuren, omdat de terugslag van file en vertraging op het onderliggend wegennet niet zijn meegenomen.

In het beslismodel is echter alleen de capaciteit variabel gemaakt. Het ondersteunend beslismodel is wel zodanig gebouwd dat zowel de capaciteit als de intensiteit aangepast kunnen worden. Hoewel voor het berekenen van vertraging een verandering in één van beide parameters voldoende is, is de beperking van op- en afritten en de groei van de intensiteit over de jaren niet meegenomen. Dit is bewust gekozen voor de vereenvoudiging van het beslismodel.

Modellering van capaciteit

De capaciteit wordt in het ondersteunend beslismodel gemodelleerd als een vereenvoudigde stochast. De capaciteit is namelijk verschillend voor de onderzochte wegvaktypen. In de praktijk wordt de capaciteit op de weg enerzijds door matrixborden beïnvloed door aanpassing van de snelheid en anderzijds door het opvolggedrag van automobilisten. Dit onderzoek is gericht op veranderingen van de capaciteit via de inputwaarden uit de Expert Elicitation en de veranderingen in de I/C verhouding. Dit is een vereenvoudiging van de realiteit, omdat het onderzoek gericht is op een simulatie van macroscopische aard, waar de volgfstanden niet gesimuleerd zijn. Hierdoor worden automobilisten niet op individueel niveau gemodelleerd. De capaciteit is dus vereenvoudigd stochastisch gemaakt doordat deze meebeweegt met de veranderingen per wegvaktype. Deze macroscopische simulatie wijkt daarom af van de realiteit.

Vervolgonderzoek en uitbreiding van het ondersteunend beslismodel kan de relatie tussen snelheid en capaciteit verder vorm geven. Dan kunnen veranderingen in snelheid ook de capaciteit beïnvloeden, hetgeen een meer realistische weergave van de werkelijkheid is.

Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse beperkt zich tot een aantal inputwaarden. Een uitgebreidere gevoeligheidsanalyse op de verschillende netwerk-prestaties voor rijkswegen zal meer inzicht geven in de relatieve veranderingen in kosten-en baten voor rijkswegen.

7.4.2 Reflectie op resultaten van het onderzoek

De relatieve veranderingen in kosten en baten, positief of negatief, geven inzicht in de kosteneffectiviteit van de matrixborden. De resultaten uit dit onderzoek wijzen erop dat gedifferentieerd beleid mogelijk is. De algemene geldigheid van de uitkomsten is afhankelijk van de randvoorwaarden en aannames die aan dit onderzoek ten grondslag liggen. Hiervoor zijn al enkele beperkingen van onderzoeksmethoden weergegeven, die de resultaten beïnvloeden.

In deze reflectie worden de uitkomsten van dit onderzoek nog eens vergeleken met andere data om goed zicht te krijgen op de robuustheid van resultaten.

Uit gegevens van KIM blijkt dat het aantal voertuigverliesuren over de jaren is veranderd. Het huidige aantal voertuigverliesuren in Nederland is geschat op 80 miljoen uur. Tegen een gemiddelde Value Of Time (VOT) waarde van € 16,62/uur leidt dit tot een waarde van € 1.3 miljard per jaar. De berekende baten in dit beslismodel beslaan [4,5%; 7%] van deze totale waarde gerelateerd aan totaal aantal voertuigverliesuren. Dit zou betekenen dat 4,5-7% van het verlies aan tijd door files -in geld uitgedrukt- gereduceerd zou kunnen worden door matrixborden. Het is lastig te schatten of deze waarden zeer afwijken van de werkelijkheid, omdat in dit onderzoek alleen gekeken is naar infrastructurele bottlenecks en ongevallen, maar dit lijkt plausibel.

In dit onderzoek, met bijbehorend randvoorwaarden wordt in de nul-situaties het volgende aantal voertuigverliesuren berekend in euro :

Tabel 57. Baten die voortkomen uit voertuigverliesuren voor verschillende interventies

Voertuigverliesuren (uitgedrukt in miljoen €)	A7	A12	A10
Nul-situatie	61	95	87
Delta voor 500 m	+ 22%	+ 57%	+ 45%
Delta voor 1000 m	+ 15%	+ 52%	+ 36%
Delta voor 1500 m	+ 12%	+ 42 %	+ 30%

- Delta wordt t.o.v. de nul-situatie genomen.
- + positief

Het verschil in de baat bereikbaarheid bij een 500m uitvoeringsmaatregel de nul-situatie is hoog. In tabel 57 staan procentueel de baten uitgedrukt ten opzichte van de nul-situatie. Op basis van de resultaten uit dit onderzoek en de zeer positieve bijdrage van de AID op de baat bereikbaarheid zijn mogelijk de uitkomsten van de MKBA te positief, zoals reeds aangegeven.

Tevens blijkt een positieve bijdrage van de AID ook uit de NCW-berekeningen, die aangeven dat de opbrengsten van een investering in matrixborden erg positief zouden zijn. Tevens is de Internal Rate of Return (IRR) waarde voor een NCW van 15 jaar erg hoog. Dit duidt erop dat een investering in matrixborden reeds na korte tijd (minder dan 2 jaar) terugverdiend zou kunnen worden. Hier kunnen echter enkele kanttekeningen bij geplaatst worden. In werkelijkheid worden niet alleen de baten, maar ook de kosten van matrixborden ter discussie gesteld, zoals blijkt uit onderzoek van RWS, Muconsult (interne bron) en andere onderzoeksbedrijven.

In dit onderzoek zijn de materiaalkosten van matrixborden beperkt tot 2 meetlussen per portaal, terwijl in werkelijkheid er meer meetlussen in het wegvak liggen. Uit onderzoek van RWS blijkt dat het onderhoud aan de meetlussen juist erg hoog is en vaak is na twee jaar vervanging al nodig in plaats van de vooraf ingeschatte vijf jaar. Daarnaast zijn bij berekening van de kosten en baten, geen (negatieve) baten meegerekend die volgen uit afsluiting van de rijkswegen voor installatiedoeleinden van deze systemen.

Deze reflectie op de resultaten geeft aan dat de baten te positief kunnen zijn ingeschat en de kosten wellicht onderschat zijn. Onderzoeksmethoden zoals het verticale wachtrijmodel – in combinatie met een lage selectie van de capaciteit- kunnen tot overschatting van de baten op bereikbaarheid hebben geleid.

Het gaat in deze analyse met name ook om de relatieve verschillen in effecten. Het ondersteunend beslismodel maakt het mogelijk de (relatieve) veranderingen in baten te berekenen. Het onderzoek is direct gericht op de vergelijking tussen de drie netwerkprestaties B-C en D wegen en tevens op drie functionaliteiten van matrixborden (AID, homogeniseren en kruis-pijl) en op drie uitvoeringsmaatregelen en dit heeft relevante uitkomsten opgeleverd. Zelfs wanneer de kosten aanzienlijk hoger zijn en de baten lager, blijven de NCW voor veel uitvoeringsscenario's naar alle waarschijnlijkheid toch positief.

7.5 Aanbevelingen

7.5.1 Wetenschappelijke aanbevelingen

Aanbeveling 1: Maak meer gebruik van Expert Elicitation in kosteneffectiviteitsstudies van matrixborden

De aanbeveling is om meer gebruik te maken van de methode van Expert Elicitation wanneer er veel onzekerheden zijn omtrent inputvariabelen, waarbij veel aandacht besteed moet worden aan de selectie van het panel. Tevens is het van belang om een lijst met meerdere seed-variabelen op te stellen. Dit zijn fundamentele vragen die de betrouwbaarheid van de expert beoordelen. Dit is een essentieel onderdeel van deze methode. Bij vervolgonderzoek zou het goed zijn om gewichtsscores te bepalen op minstens 15 vragen, zodat meer differentiatie (aangaande kennis van experts omtrent verkeersstroomtheorie en gedrag) in het onderzoek kan worden gemaakt. Tevens waren de vragen in het interview gedifferentieerd naar functionaliteit en afstand. Uitbreiding van de set aan interviewvragen zou de betrouwbaarheid van vervolgonderzoek kunnen bevorderen.

Tot slot zou een Expert Elicitation met betrekking tot kosten van matrixborden overwogen kunnen worden.

Aanbeveling 2: Pas andere verkeersmodellen toe

De toepassing van het gebruik van verticale wachtrijmodellen is mogelijk gebleken, maar heeft een aantal beperkingen zoals hiervoor uiteen is gezet. Deze beperkingen komen tot uiting in de analyse doordat de opbouw en afbouw van de file tot veel voertuigverliesuren leiden. Het verdient daarom aanbeveling om gebruik te maken van dynamische verkeersmodellen waarin de terugslag van file wel wordt meegenomen.

7.5.2. Aanbevelingen met betrekking tot vervolgonderzoek

Aanbeveling 3: Werk het ondersteunend beslismodel verder uit en verfijn het.

Zoals eerder vermeld is dit model een prototype. Voorbeelden voor uitbreiding zijn onder ander het toepassen van een ander verkeersmodel en het modelleren van de relatie tussen snelheid en capaciteit. Voor elke weg zou in het model de capaciteit stochastisch gemaakt moeten worden. Hierdoor kan er nog specifiekere een vertraging worden berekend.

Aanbeveling 4: Neem in overweging om de capaciteit te laten afhangen van de volgfstand, zodat 'het gedrag' van automobilisten nader onderzocht kan worden.

Aanbeveling 5: Er wordt aanbevolen om meer onderzoek te doen naar het effect van matrixborden op de bereikbaarheid voor wat betreft grote verschillen tussen spits- en daluren en tevens naar het effect van capaciteitsveranderingen door eigenschappen van wegen.

Aanbeveling 6: Er wordt aanbevolen onderzoeksgebieden te kiezen waar niet alleen sprake is van structurele filevorming. Hierdoor wordt er per definitie een hoog aantal voertuigverliesuren gegenereerd. In bepaalde gevallen, zoals rijkswegen met alleen files in spitsuren, kan verwacht worden dat een kosten-effectiviteitsstudie lagere baten zal genereren voor diverse uitvoeringsmaatregelen. Daarom wordt hierbij aanbevolen om specifiek onderzoek te doen naar wegen waarbij geen infrastructurele files voorkomen, maar juist matrixborden zijn geplaatst om de veiligheid te waarborgen.

Aanbeveling 7: Het verdient aanbeveling om het onderscheid in effectiviteit van matrixborden op rijkswegen in de Randstad en daarbuiten beter in kaart te brengen.

Aanbeveling 8: Er wordt aanbevolen om de kosten van matrixborden gedetailleerder te onderzoeken. De analyse in dit onderzoek is gebaseerd op 'aanleg- en exploitatiekosten'. Er treedt dus geen verschil in kosten op wanneer over grotere afstanden matrixborden geplaatst worden. Kostenposten met betrekking tot onderhoud en vervanging zijn mogelijk onderschat, mede omdat de levensduur van matrixobjecten vaak te laag lijkt ingeschat en meetlussen veel onderhoud vergen. Daarom is het zinvol om een uitgebreidere analyse te maken van de kosten van matrixborden, met name om de kosten van onderhoud en vervanging te specificeren. Een uitgebreide Lifecycle kostenanalyse zou meer inzicht geven op de kosten en de bijbehorende onderhoud strategieën. Er wordt ook aanbevolen voor de kosten een onzekerheidsanalyse uit te voeren.

7.5.3. Praktische aanbevelingen

Aanbevelingen voor de overheid en wegbeheerders

Aanbeveling 9: Overweeg uitbreiding van de AID functionaliteit op rijkswegen, vooral op C-wegen.

Aanbeveling 10: Op wegen waarbij kwetsbare weggedeelten aanwezig zijn, wordt geadviseerd matrixborden met de functionaliteit homogeniseren uit kostenoverwegingen niet te plaatsen, omdat veiligheid zeer negatief beïnvloed wordt en de baten uit bereikbaarheid daar niet tegenop wegen.

Aanbeveling 11: Overweeg investeringen in de functionaliteit kruis-pijl op locaties waarbij de verkeersstroom erg gevoelig is voor secundaire verkeersongevallen, zoals locaties met beperkt zicht door tunnels en bochten .

HOOFDSTUK 8 PERSOONLIJKE REFLECTIE

Dit hoofdstuk heeft een heel andere opzet dan de eerdere hoofdstukken, omdat de focus ligt op mijn persoonlijke reflectie op het gehele proces van deze Master thesis en wat ik daarvan geleerd heb. Dat proces begon met de keuze van het onderwerp en eindigt met het afronden van deze thesis en bevat alle tussenliggende stappen.

Iteratief proces

Het proces van het schrijven van mijn Master thesis is te karakteriseren aan de hand van de volgende kernbegrippen: bewustzijn, verlangen, kennis, vermogen en versterking. Dit zijn overigens ook begrippen die vallen onder “Change Management”, maar in dit geval hebben ze direct betrekking op mij als persoon. De overeenkomst met “change management” is dat mijn ‘thesisproces’ ook een iteratief proces is, waarbij de bovengenoemde kernbegrippen centraal staan en ‘lessons learned’ worden meegenomen.

Als ik terugblik op mijn afstudeerperiode, denk ik niet alleen aan het onderzoek dat ik heb verricht of aan het schrijven van het rapport. Ik denk voornamelijk aan de vele ervaringen die ik heb opgedaan in de praktijk door de samenwerking met anderen en het vragen naar en het verwerken van feedback.

Keuze van afstudeeronderwerp

De eerste leereffecten traden al op bij het kiezen en afbakenen van het onderwerp voor mijn afstuderen. Ik had stage gelopen bij DIF (een bedrijf dat vanuit pensioenfondsen investeert in infrastructurele projecten). Hierdoor was mijn oog gevallen op infrastructurele projecten en wilde ik daar wel meer van weten. Tevens had ik mij voorgenomen om een nieuw onderwerp onder de loep te nemen voor mijn afstuderen om mijn kennis en ervaring te verbreden. De combinatie van mijn ervaring uit mijn DIF-stage en de nieuwsgierigheid naar de Verkeerskunde zorgde ervoor dat ik op zoek ging naar een verkeerskundig afstudeeronderwerp. Dit betekende wel dat ik – binnen mijn TIL profiel – een zeer bewuste keuze maakte om de voor mij nieuwe verkeerskundige kant op te gaan. Daarbij realiseerde ik me vooraf dat ik voor de nodige uitdagingen zou komen te staan, doordat ik geen basis had in de verkeersstroomtheorie.

Op basis van deze aanvankelijk nog zeer brede voorkeur voor een verkeerskundig, infrastructureel onderwerp ging ik op zoek naar een geschikte stageplek. Ik kwam in contact met Fons Kop en Max ten Cate van PwC. Na een aantal brainstormsessies met hen kwam ik op het onderwerp van deze thesis “Matrixborden in Nederland”. De actualiteit van dit onderwerp was interessant, omdat matrixborden veel in het nieuws zijn en de ontwikkelingen snel gaan. Ik heb vervolgens met veel mensen uit de praktijk gesproken om kennis te vergaren en het onderwerp goed te definiëren. Ik vond het van belang om bij mijn thesis invalshoeken uit de praktijk en de wetenschap te combineren. Ik beschouwde het opstellen van een onderzoeksvraag als een iteratief proces, waarbij de onderzoeksvraag voortdurend aan de hand van nieuwe inzichten en verdere afbakening wordt aangescherpt. Aangezien de ontwikkeling naar in-car systemen in volle gang is, leek het me interessant om een onderzoek naar matrixborden te combineren met in-car systemen, omdat beiden werken met big data. Mijn eerste onderzoeksvraag luidde dan ook als volgt:

“Hoe kan het optimale nut van matrixsignaalgeverssystemen bepaald worden en kwantificeerbaar worden gemaakt voor Rijkswaterstaat, zodat een kostenefficiënte transitie naar in-car systemen gemaakt kan worden?”

Ik maakte een eerste onderzoekopzet, waarvan ik dacht dat dit haalbaar was. Door mijn enthousiasme voor de praktische kanten van het onderwerp liet ik mij aan het begin aan mijn thesis nogal verleiden tot een benadering en onderzoek vanuit praktijk. Daarmee kwam de wetenschappelijke kant en de haalbaarheid teveel op de achtergrond. Dit bleek een belangrijke valkuil, zoals later bleek bij mijn midterm review.

Een onderzoek naar zowel matrixborden als in-car systemen bleek te breed voor een afstudeerthesis, waarbij ook de wetenschappelijke onderbouwing van belang is. Daarom focust dit onderzoek zich nu op een effectiviteitsstudie naar matrixborden in Nederland. Deze studie kan mogelijk wel een bijdrage leveren aan toekomstige studies naar in-car systemen, waarbij de inzichten in effecten van matrixborden van nut kunnen zijn. Dit is echter een indirecte relatie omdat de scope van dit onderzoek beperkt is.

Literatuuronderzoek en uiteenlopende effectstudies van matrixborden wezen erop dat meer inzicht in de effecten van matrixborden wenselijk zou zijn. Verder leek het interessant om kosten en baten van matrixborden tegen elkaar af te zetten in een transparante MKBA. In een recent artikel in de NRC van 17 november 2014 (Volkskrant, 2014) kwam dit ook naar voren. Daarom heeft dit mij ertoe bewogen een transparant en flexibel beslismodel te ontwerpen. De flexibiliteit draagt bij aan het creëren van een basis voor verder onderzoek, aangezien het beslismodel een gemakkelijk aan te passen model is.

Leerprocessen

Zoals hiervoor al kort aangegeven, hadden mijn begeleiders en professor hun bedenkingen bij mijn eerste brede onderzoeksvraag en onderzoekopzet. Pas na enige tijd hebben zij mij via hun kennis en ervaring uiteindelijk kunnen overtuigen dat deze opzet niet haalbaar was. Nu – achteraf – kan ik beamen dat zij inderdaad gelijk hadden.

Een ander leerproces was om mijn planning en dagelijkse ritme aan te scherpen en voldoende te focussen op mijn thesis. Aanvankelijk was ik nog te veel met mijn grote hobby zeilen bezig en kwam de thesis regelmatig op de tweede plaats.

Verder heb ik tijdens mijn afstuderen veel kennis opgedaan van het programma Excel. Terwijl veel mensen, zeker op de TU Delft, hier wel een beetje of veel ervaring in hebben, had ik helemaal géén ervaring in Excel. Dankzij de hulp en ondersteuning van mijn collega's bij PwC ben ik tegenwoordig een (mini)pro in Excel! Het is een onwijs gaaf en goed programma, waarin verschillende scenario's eenvoudig en transparant uiteengezet kunnen worden. Excel draagt bovendien bij aan de transparantie van simulatiemodellen, doordat stap vóór stap de berekeningen gemaakt (kunnen) worden. Mede door deze persoonlijke 'change' – van anti Excel naar (mini)pro Excel – ben ik zeer tevreden over mijn ondersteuning en omgeving bij PwC. De inzichten in andere projecten in combinatie met de mogelijkheid externen te interviewen voor mijn afstuderen en de ondersteuning en begeleiding gedurende mijn afstudeerproces hebben bijgedragen aan mijn persoonlijke professionele ontwikkeling.

Tijdens mijn afstudeerproces zag ik lange tijd op tegen het schrijfproces. Ik had nooit lange teksten geschreven, zeker niet van academische aard, en was nooit bezig geweest met mijn Nederlands. Mijn geschreven Nederlands was onvoldoende en ik wist dat ik dat zou moeten verbeteren voor deze afstudeerscriptie. Ik ben daarom op zoek gegaan naar feedback om mijn Nederlands te verbeteren. Het bewust erkennen van en omgaan met mijn zwakke kanten, zoals mijn Nederlands, hebben er uiteindelijk voor gezorgd dat de kwaliteit van mijn teksten vooruit is gegaan. Niet alleen het schrijven, maar zeker ook het lezen van literatuur gaat hierdoor stukken makkelijker! Ik ben van mening dat hier op de TuDelft wel meer aandacht aan geschonken kan worden.

Het afstudeerproces is grotendeels een eenzaam proces dat je alleen moet doorgaan, maar waarbij de samenwerking met je begeleiders van wezenlijk belang is. Ik heb in de fase waarin ik het lastig had veel aan mijn begeleiders gehad, voornamelijk aan Serge Hoogendoorn die direct wist waar ik hulp nodig had. Iedereen heeft zijn zwakke en sterke punten. Ik ben een strever, eigenwijs en hecht waarde aan vertrouwen. Ik ben me ervan bewust dat dit zo nu en dan zorgde voor wat spanningen en conflicten met mijn begeleiders. Ik ben wel van mening dat een open communicatie en vertrouwen in elkaar erg belangrijk zijn. Ik ben blij dat ik via de samenwerking met PwC en de TuDelft in mijn afstudeerproces veel heb geleerd over mijzelf, en de kracht en impact van didactisch vermogen.

Tot slot heb ik twee praktische inhoudelijke overwegingen gerelateerd aan mijn thesis:

- Het is belangrijk de student uitdagingen te bieden waar zij naar verlangd. Mijn begeleiders hielden mij af van het idee om kennis op te doen in de praktijk. Dit kwam wellicht door de problemen rond de onderzoekskeuze en de te grote nadruk in het begin op de praktijk. Doordat Max, mijn begeleider op PwC echter op een gegeven moment zei: “Zo, en nu ga jij praten met mensen uit de praktijk” ben ik tot zeer relevante nieuwe inspiratie, inzichten en bevindingen gekomen voor mijn thesis. Ik denk dat het daarom belangrijk is om een goede manier de balans tussen wetenschap en praktijk te zoeken en te benadrukken in het afstudeerproces
- Het uitvoeren van een Expert Elicitation bleek een waardevolle analysemethode te zijn. Het kost echter veel tijd en het inplannen van experts is zeer lastig.

LITERATUURLIJST

- Allaby, P., Hellinga, B., Bullock, M. (2007). Variable speed limits: Safety and operational impacts of a candidate control strategy for freeway applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(4), pp. 671–680.
- Aspinall, W., (2008). Expert Judgment Elicitation using the Classical Model and EXCALIBUR, pp. 1–22.
- Carlson, R. C., Papamichail, I., Papageorgiou, M., Messmer, A. (2010). Optimal mainstream traffic flow control of large-scale motorway networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(2), 193–212.
- Cellissen, R. (2000). Evaluatie verkeerssignalering A58.
- Cho, H., Kim, Y. (2013). Analysis of Traffic Flow with Variable Speed Limit on Highway, *National Transportation Core Technology Program*, pp. 1–17.
- Chung, K., Rudjanakanoknad, J., Cassidy, M. J. (2007). Relation between traffic density and capacity drop at three freeway bottlenecks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1), pp. 82–95.
- Cremer, M. (1979). Der Verkehrsfluss auf Schnellstrassen.
- ECORYS. (2012). Buitenring Parkstad Limburg.
- Filmon, H. G., de, P. S. (2013). Safety and Operational Benefits of Variable Speed Limits Under Different Traffic Conditions and Driver Compliance Levels. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2386), pp. 7–15.
- Flandoli, F., Giorgi, E., Aspinall, W. P., Neri, a. (2011). Comparison of a new expert elicitation model with the Classical Model, equal weights and single experts, using a cross-validation technique. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(10), pp. 1292–1310.
- Fudala, N. J., Fontaine, M. D. (2010). Interaction Between System Design and Operations of Variable Speed Limit Systems in Work Zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2169(-1), pp. 1–10.
- Garber, N. J., Gadiraju, R. (1989). Factors affecting speed variance and its influence on accidents.
- Garber, N. J., Gadiraju, R. (1991). Impact of differential speed limits on highway speeds and accident. *Transportation Research*, 1213, pp. 64-71.
- Garcia-castro, A., Monzon, A. (2014). Homogenization effects of variable speed limits, 15(2), pp. 130–143.
- Goemans, I. J. W. (2011). Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA).
- Goudappel Coffeng. (1994). Effecten van verkeerssignalering op capaciteiten.

- Goudappel Coffeng. (2002). Effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen. *Eindrapportage 110613/CE2/077/000079*, pp. 1 - 267.
- Grontmij. (2001). Effecten DVM-maatregelen A2 Den Bosch-Eindhoven.
- Hegyi, A. (2004). Model Predictive Control for Integrating Traffic Control Measurers.
- Hegyi, A., Duy, D. N., Schutter, B. De, Hellendoorn, J., Hoogendoorn, S. P., Stramigioli, S. (2003). Suppressing shock waves on the A1 in The Netherlands-model calibration and model-based predictive control. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 1. pp. 87-104
- Hegyi, A., Hoogendoorn, S. P., Schreuder, M., Stoelhorst, H. (2009). The Expected Effectivity of the Dynamic Speed Limit Algorithm SPECIALIST - A field data evaluation method, pp. 1770–1775.
- Hegyi, A., Schutter, B. De, Hellendoorn, H. (2005). DVM nog onvoldoende benut. *Technical Report 05-011*, pp.11-19.
- Hegyi, A. Hoogendoorn, S. (2010). DYNAMAX voor doorstroming SPECIALIST op de A12 : inregelen en evaluatie. *TU Delft eindrapportage*, pp. 1–32.
- Herman R, M. E. (1959). Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2386), pp. 240-246.
- Heydecker, B. J. A., Addison, J.D. (2011). Measuring Traffic Flow Using Real-Time Data. *Transportation Research Board: 18(2)*, pp. 109 - 120.
- Hoogendoorn, S. (2010). Traffic Flow Theory and Simulation. *Reader VK4821*.
- INFRAM. (2013). Inventarisatie storings- hersteltijden dvm-systemen.
- James, A., Choy, S. L., Mengersen, K. (2010). Elicitor: An expert elicitation tool for regression in ecology. *Environmental Modelling & Software*, 25(1), pp. 129–145.
- KiM. (2013). Mobiliteitsbalans 2013, pp. 225.
- Kim, H. (2003). Two traffic flow models for dynamic network loading, 5, pp. 1086 - 1100
- KiM. (2010). De betekenis van robuustheid.
- Knoop, V. L. (2012). Cumulative curves, 1, pp. 1–4.
- Knoop, V. Snelder, M. van Zuylen, H. Hoogendoorn, S. (2010). Link-level Vulnerability Indicators for Real-World Networks, 142, pp. 1–16.
- Kononov, J., Durso, C., Reeves, D., Allery, B. K., Newton, I. (2012). Relationship Between Traffic Density , Speed , and Safety and Its Implications for Setting Variable Speed Limits on Freeways. *Transportation Research Record 2280*, 1, pp. 1–9.
- Kotsialos, A., Papageorgiou, M. (2004). Motorway network traffic control systems. *European Journal of Operational Research*, 152(2), pp. 321–333.

- Koutsopoulos, H. N. (2011). Evaluation of the Impact of Advisory Variable Speed Limits on Motorway Capacity and level of service, 16, pp. 100-109.
- Kroes, J. L. de, Donk, P. Klein S. J. de (1983). Evaluatie van de externe effecten van het verkeerssignaleringssysteem voor autosnelwegen.
- Kwon, E. D. B. (2007). Development and Field Evaluation of Variable Advisory Speed Limit System for Work Zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 22-18.
- Lee, C., Kwon, E. D. B. (2007). Development and Field Evaluation of Variable Advisory Speed Limit System for Work Zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 22-18.
- Li, Y., Bai, Y. (2009). Effectiveness of temporary traffic control measures in highway work zones. *Safety Science*, 47(3), pp. 453-458.
- Lin, P.W., Kang, K.P., Chang, G.L. (2004). Exploring the Effectiveness of Variable Speed Limit Controls on Highway Work-Zone Operations. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 8(3), pp. 155-168.
- Lint van. (2007). Het Rijk bepaalt straks waar je rijdt. *NRC*. Amsterdam. Verkregen op 15 augustus, 2014 van <http://vorige.nrc.nl/economie/article2293619.ece>
- Marchesini, P., Weijermars, W. (2010). The relationship between road safety and congestion on motorways.
- May, A. D. (1990). Traffic Flow Fundamentals.
- Ministerie van Economische Zaken (EZ). (2000). Deel I Hoofdrapport Evaluatie van grote infrastructuurprojecten Leidraad voor kosten-baten analyse.
- Ministerie Infrastructuur en Milieu (IM). (2013). Publieksrapportage Rijkswegennet. *Publieksrapportage Rijkswegennet, 3e periode*, pp. 1-38.
- Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., Papamichail, I. (2008). Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow, pp. 37-48.
- Pei, X., Wong, S. C., Sze, N. N. (2012). The roles of exposure and speed in road safety analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 48, pp. 464-471.
- Popov, A., Babu, R., Werner, H. (2008). Distributed Controller Design for Dynamic Speed Limit Control Against Shock Waves on Freeways. *Civil Engineering*, pp. 14060-14065.
- Rijkswaterstaat. (2000). Specificatie Onderstation Deel I t / m III Specificatie Onderstation MTM-2.
- Rijkswaterstaat. (2006a). *Objectbeheerregime Dynamisch Verkeers- managementsystemen (OBR-DVM)*.
- Rijkswaterstaat. (2006b). Wegkant Systeem voor DVM toepassing.

- Rijkswaterstaat. (2007). Verkeersmanagement 2020.
- Rijkswaterstaat. (2013a). *Innovatiebehoefte in beeld 2015-2025*.
- Rijkswaterstaat, V. I. (2013b). Ruimte voor Innovatie.
- Rijkswaterstaat-AVV. (2007). *Functioneel Eisenpakket Dynamische Verkeersmanagement Systemen*.
- Ryan, J. J. C. H., Mazzuchi, T. a., Ryan, D. J., Lopez de la Cruz, J., Cooke, R. (2012). Quantifying information security risks using expert judgment elicitation. *Computers & Operations Research*, 39(4), pp. 774–784.
- Schrijver, J., Immers, B., Snelder, M., & Jong, R. De. (2006). Effecten van de landelijke invoering van incidentmanagementmaatregelen op de voertuigverliefstijd in het netwerk.
- Saccomanno, F. (2006). Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), pp. 213–228.
- Scully, J., Corben, B., Clark, N. (2007). Expert consensus on the likely effect of different types of impairment on driver reaction time.
- Smulders. (1988). Control of freeway traffic flow by variable speed signs.
- Spaccasassi, C., Deleris, L. (2011). A Web-based Tool for Expert Elicitation in Distributed Teams.
- SWOV. (1999). Een snelheidsmeetnet ter ondersteuning van het verkeersveiligheidsbeleid.
- SWOV (2014). Een verkennende literatuurstudie naar indicatoren die relevant zijn bij het in beeld brengen van bereikbaarheid in Vlaanderen.
- TNO. (2011). Top 15 filelocaties voor verschillende fileoorzaken in Nederland.
- Talebpour, A., Mahmassani, H. S., Hamdar, S. H. (2013). Speed Harmonization. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2391(-1), pp. 69–79.
- Tan, Z., Yang, H., Guo, R. (2014). Pareto efficiency of reliability-based traffic equilibria and risk-taking behavior of travelers. *Transportation Research Part B: Methodological*.
- Treiber, M. Kestn, A. Helbing, D. (2008). Understanding widely scattered traffic flows, the capacity drop, platoons, and times - to- collision as effects of variance - driven time gaps., 56, pp. 47-89.
- Tuomisto, J. T., Wilson, A., Evans, J. S., Tainio, M. (2008). Uncertainty in Mortality Response to Airborne Fine Particulate Matter : Combining European Air Pollution Experts, 93, pp. 1–24.
- Uchida, K. (2014). Estimating the value of travel time and of travel time reliability in road networks. *Transportation Research Part B: Methodological*.
- Van Nes, R. (2011). *Verkeersstroomtheorie en verkeersmanagement. Reader CT2710 Transport & Planning*.

- Westerman, M., Hoogendoorn, S., Leopold, J., Hecker, M., Arem, B. Van. (2010). Scenario's voor de ontwikkeling van instrumenten en activiteiten op het terrein van verkeersinformatie en verkeersmanagement.
- Yu, R., & Abdel-Aty, M. (2014). An optimal variable speed limits system to ameliorate traffic safety risk. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46, pp. 235–246.
- Zackor, H. (1972). Beurteilung verkehrsabhängiger Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Autobahnen. *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, pp. 128.
- Zackor, H. (1979). Self-sufficient control of speed on freeways. *International Symposium on Traffic Control Systems*, 2A, pp 226-249.

Matrixborden in Nederland

- Een studie naar kosteneffectiviteit -

C.M.A.S. van Dooren

Master thesis Transport Infrastructure and Logistics

Bijlagen

INHOUDSOPGAVE

BIJLAGE 1 LIJST MET GEÏNTERVIEWDE EXPERTS	9
BIJLAGE 2 HET MATRIXBORD	10
2.1. WERKING VAN MATRIXBORDEN	10
2.2. FUNCTIONALITEITEN	10
BIJLAGE 3 BELANGHEBBENDEN	17
BIJLAGE 4 BEGRIPPENKADER	21
BIJLAGE 5 ONDERDELEN THEORETISCH KADER	23
5.1. FUNDAMENTELE VERKEERSDIAGRAMMEN	23
5.2. FILELOCATIES	24
5.3. KEUZE VERKEERSMODEL	26
5.3. CRITERIA SELECTIE KWETSBARE WEGGEDEELTES	28
BIJLAGE 6 PRESTATIE-INDICATOREN EN EFFECTSTUDIES	31
6.2. RESULTATEN EFFECTSTUDIES	31
6.2 REISTIJBETROUWBAARHEID	34
BIJLAGE 7 EXPERT PANEL - EXPERT ELICITATION	36
7.1. KEUZE VERKEERSMODEL	36
7.2. OPBOUW INTERVIEW SEED EN TARGET VARIABLEN	38
7.3. RANDVOORWAARDEN BIJ HET INTERVIEW	40
7.4. UITVOERING VAN HET EXPERTPANEL ONDERZOEK	41
7.5. INTRODUCTIE INTERVIEW	45
7.6. INTERVIEW	48
7.7. RESULTATEN VAN EXPERT ELICITATION	54
7.8. EXPERT PANEL RESULTATEN EXPERT ELICITATION.....	67
BIJLAGE 8 OPZET BESLISMODEL	70
8.1. INPUT MODEL – TRACÉDEEL	70
8.2. OVERZICHT VAN DE INPUTWAARDEN VAN TRACÉDEEL	71
8.3 THROUGHPUT - BASISGEGEVENS	72
8.4. THROUGHPUT - BATEN	80
BIJLAGE 9 RESULTATEN	82
9.1. RESULTATEN MKBA	82
9.2. GEVOELIGHEIDSANALYSE	92

FIGUREN

Figuur 1. Geïnterviewde experts.....	9
Figuur 2. Dynamax werking.....	12
Figuur 3. Overzicht Matrixsignaalgeversysteem.....	14
Figuur 4. Fundamentele verkeersdiagrammen.....	23
Figuur 5. Visualisatie ‘verticale wachtrij’	28
Figuur 6 Impact relaties voor kwetsbare weggedeeltes.....	29

Figuur 7. Expert Elicitation: SWOT analyse.....	38
Figuur 8. Beoordeling van een expert op zijn seed variabelen.....	44
Figuur 9. Interpolatie van de kwantiel verdeling van antwoorden van een expert.....	44
Figuur 10. Voorbeeld van een range grafiek.....	44
Figuur 11. Overzicht input – ondersteunend beslismodel.....	70
Figuur 12. Input- wegeigenschappen.....	72
Figuur 13. Dag intensiteit gekozen scenario's.....	74
Figuur 14. File top 50 locaties A7.....	74
Figuur 15. Steekproeflocatie.....	74
Figuur 16. Verdeling etmaalintensiteit weekenddag A7.....	75
Figuur 17. Verdeling etmaalintensiteit werkdag A7.....	75
Figuur 18. Top 15 structurele filelocaties A12.....	76
Figuur 19. Steekproeflocatie A12.....	76
Figuur 20. Verdeling etmaalintensiteit werkdag A12.....	77
Figuur 21. Verdeling etmaalintensiteit weekend A12.....	78
Figuur 22. Steekproeflocatie A10.....	78
Figuur 23. Verdeling werkdag A10.....	79
Figuur 24. Verdeling weekenddag A10.....	79
Figuur 25. Toepassing etmaalintensiteit verdelingen excel.....	80
Figuur 26. Inputwaarde Snelheid-Intensiteit curve.....	81
Figuur 27. Hyperbolische relatie tussen snelheid en I/C.....	81

TABELLEN

Tabel 1. Snelheidsalgoritmes	13
Tabel 2. Overzicht van resultaten effectstudies verkeerssignalering.....	31
Tabel 3 legenda input-waarde excel.....	71
Tabel 4. Beschrijft de baten –nul-situatie- A7	82
Tabel 5. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A7.....	82
Tabel 6. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A7.....	83
Tabel 7. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A7.....	83
Tabel 8. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A7.....	83
Tabel 9. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A7.....	84
Tabel 10. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A7.....	84
Tabel 11. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A7	84
Tabel 12. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A7	85
Tabel 13. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A7	85
Tabel 14. Beschrijft de baten –nul-situatie- A12	85
Tabel 15. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A12.....	86
Tabel 16. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A12.....	86
Tabel 17. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A12.....	86
Tabel 18. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A12.....	87
Tabel 19. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A12.....	87
Tabel 20. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A12.....	87
Tabel 21. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A12	88

Tabel 22. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A12	88
Tabel 23. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A12	88
Tabel 24. Beschrijft de baten –nul-situatie- A10	89
Tabel 25. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A10.....	89
Tabel 26. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A10.....	89
Tabel 27. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A10.....	89
Tabel 28. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A10.....	90
Tabel 29 . Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A10.....	90
Tabel 30. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A10.....	90
Tabel 31. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A10	91
Tabel 32. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A10.....	91
Tabel 33. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A10	91

LIJST MET GEÏNTERVIEWDE EXPERTS

Bijlage 1 geeft een overzicht van de geïnterviewde experts. De experts zijn uiteengezet in het praktische- en wetenschappelijke werkveld waarin zij opereren. Bij elke experts is aangegeven tot welke instelling en- of organisatie en afdeling zij behoren.

Figuur 1. Geïnterviewde experts

Instelling / Organisatie	Afdeling	Geïnterviewde
Praktijk		
Overheid	Rijkswaterstaat	Henk Taale
	Infrastructuur en milieu	Henk Schuurman
	Verkeerscentrum Nederland	Jan Seinen
		Pieter van der Veen
Transpote	Verkeer en Informatica afdeling	Bart Elbers
		Jaap van Toornburg
Wetenschap		
Tu Delft	Verkeersstroomtheorie en dynamisch verkeersmanagement	Serge Hoogendoorn
		Victor Knoop
	Verkeersveiligheid en gedrag	Raymond Hoogendoorn
		Mirjam Hagenzieker

HET MATRIXBORD

Deze bijlage geeft inzicht in de werking van matrixborden (2.1) de verschillende functionaliteiten van matrixborden (2.2) tot slot worden de subsystemen beschreven waaruit een matrixbord bestaat (2.3). Deze bijlage sluit aan bij hoofdstuk 1 en 3.

2.1. Werking van matrixborden

De operationele modussen in matrixborden, traceren en tellen, meten waarden van passerende voertuigen. Op basis van deze waarden worden de snelheden op displays van matrixborden weergegeven. (Schrijver, Immers, Snelder, & Jong, 2006).

De transitie van informatie, die verkregen wordt uit het traceren en tellen van verkeerssignalerings, gebeurt bij het onderstation. Het onderstation is op zijn beurt aan twee detectiestations van de verkeerssignaleringsportalen gekoppeld. De detectiestations meten de snelheid van elke passerende voertuigen op elke rijbaan en versturen deze informatie naar het onderstation (INFRAM, 2013). Het onderstation verwerkt de verkeersdata en refereert de waargenomen informatie met de geprogrammeerde algoritmes. Op basis hiervan wordt één van de signaleringsalgoritmes geactiveerd en wordt de informatie verstuurd naar het centrale verkeerssysteem. Het onderstation kan ook via de verkeerscentrale worden aangestuurd waardoor het een signaal op het display vertoont (INFRAM, 2013). Het centrale verkeerssysteem is verantwoordelijk voor de communicatie van binnenkomende-en uitgaande informatie.

Naast het waarnemen en vergelijken van binnenkomende snelheden kunnen er ook directe signalen gegeven worden vanuit de verkeerscentrales die de displays beïnvloeden van de matrixborden.

2.2. Functionaliteiten

Verkeerskundige functies

Het aantal functies van een matrixbord is gelimiteerd vanwege veiligheidsaspecten. Te veel variatie en snelle veranderingen in snelheden veroorzaken verwarring en kunnen gevaarlijke situaties veroorzaken. Vanuit verschillende invalshoeken is er een viertal functies die door de matrixsignaalgever uit te voeren zijn om prestaties op de weg te verbeteren.

Daarnaast, dient het systeem ook voor het monitoren van het verkeer, namelijk:

- Beschikbaar stellen van verkeersgegevens ten behoeve van verkeerssignaleringen aan de verkeerscentrales
- Het beschikbaar stellen van verkeersgegevens ten behoeve van statistieken en onderzoek.

Automatische filestaartbeveiliging (AID)

De functie die over het algemeen het meest gebruikt wordt is de AID. Het algoritme waar het besturingssysteem van AID op is gebaseerd meet de binnenkomende snelheden met de

vooraf ingestelde minimum- en maximum snelheid, (Koutsopoulos 2011). Op basis hiervan wordt bepaald of informatie, en zo ja, welke informatie naar de signaleringsportalen wordt verstuurd. Het algoritme waar AID op is gebaseerd gaat uit de gemiddelde snelheid die op regelmatige afstand gemeten wordt en die wordt vergeleken met een grenswaarde (Lee, Hellinga, & Saccomanno, 2006). De snelheid wordt per rijstrook berekend. Zodra de snelheid onder een gemiddelde grenswaarde van bijvoorbeeld 35 km/uur komt zal de AID ingeschakeld worden. De matrixborden op de portalen boven de weg, geven op de desbetreffende locatie de maximumsnelheid weer die gereden mag worden. Zodra de gemiddelde snelheid van (meestal) 35 km/uur of lager gemeten wordt zal de AID ingeschakeld worden op 50 km/uur. Opeenvolgend tonen de 2 matrixportalen flashlampen met 50 en 70. Komt de snelheid weer boven een grenswaarde van (meestal) 50 km/uur dan schakelt het systeem zichzelf weer uit. Deze functie is geheel automatisch in te stellen, maar kan ook door de verkeerscentrale worden aangestuurd. Het algoritme dat gebruikt wordt voor de beeldvorming op de portalen is een discreet proces waarbij kleine snelheidsverschillen over de grenswaardes niet tot verandering leiden. Dit wordt gedaan om de invloed van foutmeldingen te minimaliseren waarbij rijtijden gefilterd worden voor bepaalde snelheden. Snelheden hoger dan 200 km/uur worden verwijderd en snelheden lager dan 18 km/uur worden opgehoogd tot 18 km/uur (Rijkswaterstaat, 2006). De rijtijden, verkregen via de meetlussen worden afgevlakt om schommelingen in de snelheden te beperken. De afgevlakte rijtijd wordt vervolgens omgerekend naar een snelheid. De snelheid is pas geldig, zodra er minimaal 12 correcte rijtijden zijn gemeten (Rijkswaterstaat, 2006).

Per rijbaan wordt vervolgens vastgesteld wat de gemiddelde snelheid is. Met de huidige instellingen is alleen de aanvraag tot [50] km/uur mogelijk, ingeleid met een snelheid van [*50*]-[70]-[*70*]. Bestaat een snelweg uit meerdere rijbanen dan krijgt de rijbaan zonder file een + 20 km/uur maatregel. Dit houdt in dat alle beelden t.o.v. de rijbaan met de [*50*] signalering met 20 km/uur worden verhoogd.

In de werking van de AID functie zijn enkele problemen gevonden die leiden tot ruis. Doordat meetlussen en portalen gefixeerd zijn op locatie en files zich continu in de tijd en soms op locatie verplaatsen passeren file(golven) soms een detectiepunt, zonder dat een AID een beeld toont. Dit komt in het algemeen omdat de gemiddelde snelheid van de file dan niet laag genoeg is, terwijl de detectiepunten wel een filestaart of filegolf constateren. De afstand en locatie van de matrixborden is van belang bij het juiste triggeren van de verkeersstroom. Op de rijkswegen varieert de gemiddelde afstand tussen de lussen van 200-300 m tot wel 500-600 m.

Homogeniseren

Homogeniseren is ingevoerd vanuit de gedachten dat files worden veroorzaakt door een diversiteit aan snelheden die ontstaan zodra de verkeersstroom bijna de capaciteit heeft bereikt. Uit onderzoek van van Toornburg (1983) is gebleken dat de gemiddelde snelheid voordat file ontstaat 90 km/uur is. Vanuit de gedachten van de stromingsleer, dat kleine verschillen in amplitude grote verstoringen tot gevolg hebben (Kohler 1974) is dit in de verkeertheorie ook toegepast. File kan ook ontstaan door een grote variatie in snelheden. Vanuit deze gedachte is de functie homogeniseren ingevoerd met als doel de homogeniteit te vergroten, waardoor het aantal verstoringen afneemt. Deze functie wordt ingezet wanneer rijstroken een hoge intensiteit hebben. Het doel van deze functie is voornamelijk

het verbeteren van de verkeersveiligheid en het vergroten van de doorstroming. De beeldstanden die worden weergegeven op de portalen zijn “70” of “90”.

Kruis-pijl

De combinatie van een afdrijfpijl en kruis. De zogenaamde kruis-pijl, wordt toegepast bij o.a. werkzaamheden, verkeersongelukken en pech. De signalering kan een rood kruis weergeven die aangeeft dat de rijstrook dan tijdelijk afgesloten is. Het kruis wordt weergegeven over het gehele wegvak waarbinnen het ongeluk of het onderhoud plaatsvindt. Bij ongelukken wordt een wegvak stroomopwaarts ook afgesloten, waarbij opeenvolgende wegvakken worden voorzien van een kruis. Afhankelijk van de aard en omvang van het verkeersongeval of de wegwerkzaamheden worden er 3,2 of 1 rijstroken afgekruist.

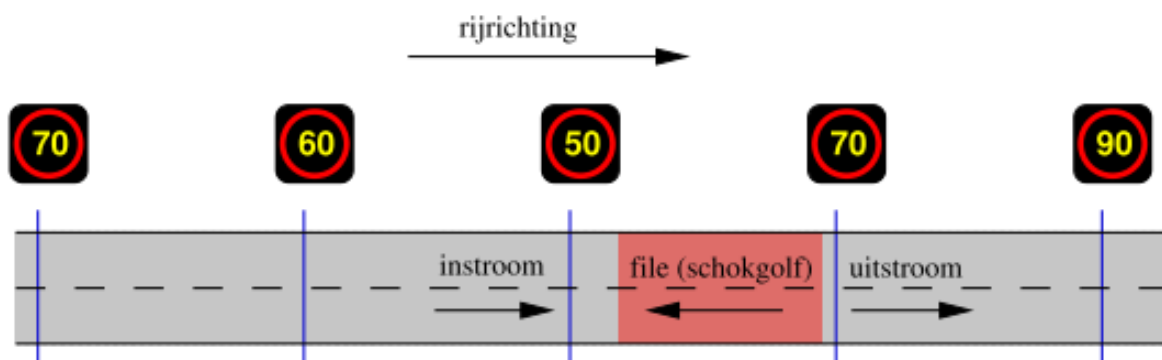
Bij werk in uitvoering wordt vooraf vastgesteld over welke afstanden en hoeveel rijstroken de kruispijl wordt toegepast.

Het grote verschil met de inzet van de kruis-pijl bij ongevallen is dat dat op ad-hoc basis is meestal voor korte duur. Het voornaamste doel van de functie is het waarborgen van de veiligheid. Een ander doel is de verkeersstroom zo efficiënt mogelijk te laten verlopen, waarbij ook de veiligheid van de wegwerkers en het materieel ook in acht worden genomen (Li & Bai, 2009).

Dynamax

Dynamax is een nieuw algoritme dat recentelijk op enkele wegen wordt toegepast. Dynamax is een functionaliteit die zich toespitst op dynamisch snelheidsadvies. Rijkswaterstaat heeft een studie uitgevoerd, *Evaluatie experimenten Dynamax 130 km/uur*, die als referentie is gebruikt.

Figuur 2. Dynamax werking



(Bron: Hegyi et al., (2005))

2.1.2 Algoritmes en randvoorwaarde

De algoritmes hebben betrekking op snelheid en veiligheid. Snelheidsalgoritmes zijn homogeniseren, AID en Dynamax. Veiligheidsalgoritmes zijn ingebouwd bij kruis-pijl en AID (file-alertheid). Deze zijn weergegeven in de volgende tabel 1.

Tabel 1. Snelheidsalgoritmes

Algoritme	Functie	Reageert op	Display weergave	Toepassing
Homogeniseren	Statisch	Tijdslot Intensiteit Snelheid Extern	Snelheid	Milieu File Veiligheid
AID	Dynamisch	Intensiteit Snelheid	Snelheid	File Hoge intensiteit
Dynamax	Dynamisch	Intensiteit Snelheid	Snelheid	Milieu Hoge intensiteit Veiligheid
Pijl- Kruis	Statisch	Externe input	Kruis-Pijl	Wegwerkzaamheden Verkeersongeluk

Randvoorwaarden uitvoeringsmaatregelen

De overheid stelt eisen aan het gebruik van matrixborden op het wegennet met betrekking tot de beschikbaarheid, betrouwbaarheid en veiligheid van de infrastructuur van matrixborden, de matrixdeelsystemen en de verkeerscentrales. Bij het opstellen van deze functionele eisen wordt uitgegaan van de huidige Europese systematiek van de richtlijnen bouwmaterialen "European Building Materials Directive 89/106/EEG.

Veiligheid

De eisen ten aanzien van veiligheid die de overheid hebben betrekking op de zichtbaarheid en herkenbaarheid van de matrixborden gedurende verschillende weercondities, terwijl eveneens de matrixborden van een maximale maar veilige afstand te zien moeten zijn om te zorgen voor voldoende reactietijd.

Levensduur

De levensduur van de matrixsignaalgevers wordt geschat op 15-30 jaar afhankelijk van het deelsysteem. Echter door vervanging of onderhoud van het wegvak gaat de inductielus ook verloren, daarom wordt de levensduur van 30 jaar vaak niet gehaald. Zodra er defecten optreden binnen het matrixsignaalgeverssysteem zijn er randvoorwaarden voor de hersteltijd van het object. Deze variëren per verkeerscentrale en zijn te onderscheiden in VODK contracten en POLO-LOC contracten.

Snelheidsweergave

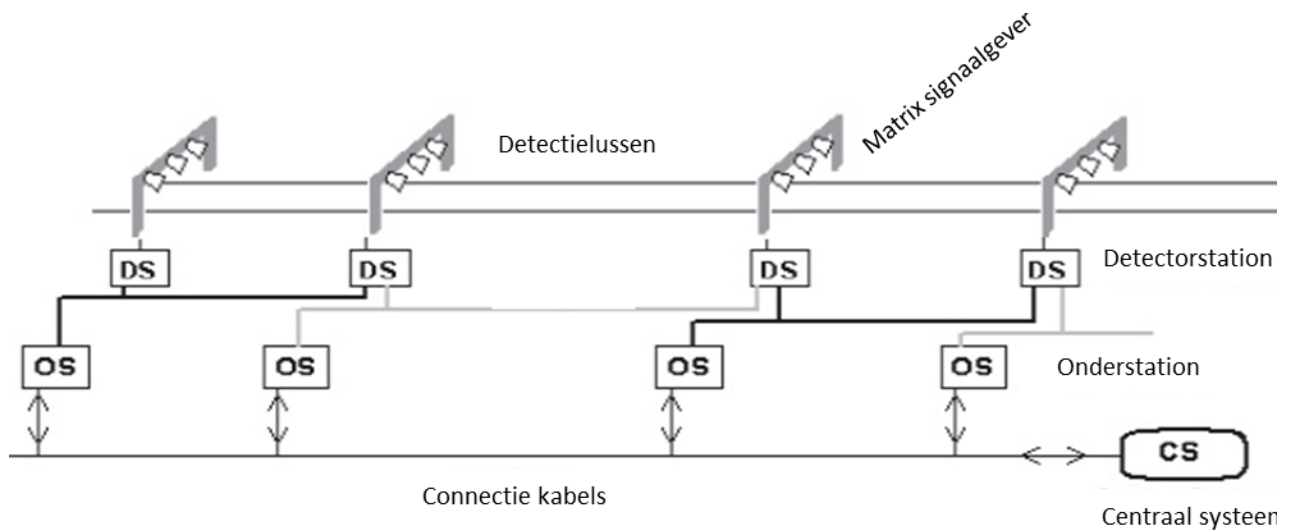
De displays mogen geen grote snelheidsverschillen weergeven. Dit betekent dat ze slechts in een bepaalde frequentie van snelheid mogen wisselen (300 s)(Carlson, Papamichail, Papageorgiou, & Messmer, 2010) op de ring van Amsterdam bijvoorbeeld. Opeenvolgende borden mogen niet meer dan 20 km/uur aan snelheidsverschillen vertonen. (Carlson et al., 2010)

MTM subsystemen

Een MTM bestaat uit diverse subsystemen die voor de volledigheid kort worden uiteengezet:

1. MTM detectielussen
2. MTM detectorstations
3. MTM onderstation
4. MTM matrixsignaalgever (Lamp or LED)

Figuur 3. Overzicht Matrixsignaalgeversysteem



(Bron: Nissan (2006))

Ad 1. MTM detectielussen

De detectielussen zijn gemaakt van koperdraad en liggen verzonken in het wegdek. Met behulp van elektronica worden voertuigen die hierover heen rijden waargenomen. De detectielus heeft als doel het inwinnen van verkeersgegevens, zoals verkeersintensiteit en snelheid om verkeer te kunnen informeren en adviseren (Hway-liem, Leidschendam, Wetenschappelijk, & Verkeersveiligheid, 1999).

In Nederland liggen op 106 van de 188 trajecten detectielussen. Een nadeel van het gebruik van detectielussen is het afsluiten van de weg bij vervanging of reparatie (Hway-liem et al., 1999). In veiligheidsvoorschriften staat genoteerd dat bij het gebruik van de lus en een lusdetector, de exploitant eindverantwoordelijk is voor een juiste en veilige werking van zijn systeem.

Ad 2. MTM detectorstations

MTM detectorstation staan vaak per twee of drie verbonden aan een onderstation. Het aanvragen van de maatregel is de belangrijkste functie van het detectorstations. Dit verzoek wordt doorgegeven aan het centrale systeem. De eindverantwoordelijke is de aannemer richting RWS (Rijkswaterstaat, 2006).

Ad 3. MTM onderstations

Het onderstation ontvangt de informatie van de detectorstations. Op de onderstationsbehuizing worden connectoren geplaatst die volgens de gestelde eisen

geplaatst moeten worden. Vanuit het onderstation wordt informatie ingelezen voor het centrale systeem.

Ad 4. MTM matrixsignaal

Het signaal wordt verkregen door het aflezen van de informatie van het onderstation. Het matrixbord is voorzien van halogeenlampen.

Uiteindelijk blijft de wegkantsysteemketen de verantwoording van de RWS projectleider, die het complete ontwerp moet goedkeuren. Wanneer de projectleider akkoord is gegaan met de installatie kunnen de SAT en IAT testen beginnen. Op basis hiervan kan de RWS projectleider de levering accepteren.

BELANGHEBBENDEN

Bijlage 3 beschrijft de verschillende belanghebbende partijen die invloed kunnen hebben bij (toekomstige) ontwikkelingen in matrixborden. Hierbij is er een onderscheid gemaakt naar betrokken politieke partijen op Europees en Nationaal niveau en andere belanghebbende zoals wegbeheerders en marktpartijen.

De Europese Unie

De Europese Unie schrijft in de richtlijnen het belang van de “Technology push” en het internationaliseren van het beleid. De Nederlandse overheid, in het bijzonder, het ministerie Infrastructuur en Milieu (I&M) is verantwoordelijk voor het uitvoeren van deze Europese richtlijnen.

Ministerie van I&M

Het ministerie I&M is verantwoordelijk voor onder andere het handhaven van veiligheid, duurzaamheid en leefbaarheid van het verkeer op de Nederlandse Rijkswegen. Hierbij heeft het de volgende rollen:

- Het ontwikkelen van beleidsvoorschriften;
- Uitvoerende macht;
- Inspecteren of de kwaliteit van de Rijkswegen, met referentie aan de opgestelde minimale prestatieniveaus, wordt gewaarborgd.

Overheidspartijen die I&M bij deze uitvoerende taken vertegenwoordigd zijn:

- Rijkswaterstaat;
- Verkeerscentrum Nederland (VCNL).

De doelen van de overheid met betrekking tot matrixsignaalgevers zijn:

- Beter informeren van automobilisten;
- Het verbeteren van toegankelijkheid van het wegennetwerk;
- Het waarborgen van bereikbaarheid en veiligheid;
- Besparen op onderhoudskosten en investeringskosten.

Middelen waarmee het ministerie I&M te werk gaat:

- Wet- en regelgeving met betrekking tot snelheden;
- Financiële middelen zoals ‘boetes’ wanneer de wegbeheerder niet voldoet aan de uitvoering van de prestatieniveaus;
- Overeenkomsten met partijen sluiten voor investeringsdoeleinden;
- Publiciteit: reclame maken met betrekking tot de veiligheid op de weg.

Risico's:

- Technology push EU;
- Verlies van uitvoerende taken;
- Concurrentie private partijen;

- Verlies van investeringen in databronnen en databases.

Belang ten aanzien van matrixsignaalgevers:

- Streeft naar het beter informeren van automobilisten;
- Streeft naar het beter reguleren van automobilisten;
- Streeft naar een beter afgestemde investering aangaande de aanleg van matrixsignaalgevers op Rijkswegen;
- Verhogen van de efficiëntie.

Onderzoeksinstituten / ingenieursbureaus

Onderzoeksinstituten op het gebied van verkeerskunde hebben met name belang bij het ontwikkelen en verbeteren van de verkeersstroom op cruciale knelpunten door middel van advies, onderzoek en innovatie.

Onderzoeksinstituten hebben de volgende rollen:

- Innovaties creëren;
- Adviseren over beleid;
- Adviseren over processen.

De doelen van onderzoeksinstituten betreffende matrixsignaalgevers zijn:

- Het verbeteren van de doorstroming van verkeer;
- Innovatieve oplossingen op een duurzame manier implementeren.

Middelen waarmee onderzoeksinstituten te werk gaan:

- Datagegevens verkrijgen uit meetlussen van Rijkswaterstaat;
- Datagegevens verkrijgen van private partijen zoals (TomTom en google);
- Analyseren van gegevens;
- Adviseren om bestaande dynamische verkeersmanagementsystemen te optimaliseren.

Risico's

- Weinig toegang tot de beleidsagenda;
- Gebruik van (semi)betrouwbare informatie;
- Voorstellen van te dure en lastig te testen uitvoeringsmaatregelen;
- Weinig aansluiting bij de praktijk.

Belang ten aanzien van matrixsignaalgevers:

- Nieuw onderzoeksterrein;
- Beleidsagenda beïnvloeden.

Aannemers

Binnen Publiek-Private samenwerkingsverbanden (bv DBFM- contracten) heeft vaak de aannemer, de private partij, de uitvoerende taak om matrixsignaalgevers aan te leggen en te onderhouden. De rollen van de aannemer zijn:

- Verantwoordelijk voor het realiseren van de aanleg van bouwactiviteiten;
- Verantwoordelijk voor het onderhoud (in sommige contracten).

De doelen van de aannemer betreffende Rijkswegen

- Het uitvoeren en realiseren van de vastgestelde activiteiten tegen een voldoende budget en zo laag mogelijke kosten;
- Voldoen aan de gestelde kwaliteitsnormen voor de werkzaamheden;
- Bijdragen aan veiligheid, leefbaarheid en duurzaamheid.

De middelen waarmee aannemers te werk gaan:

- Projectvoorschriften;
- Financiële middelen;
- Bouwmaterialen en gereedschap.

Risico's :

- Niet behalen van de opgestelde veiligheidseisen van de overheid;
- Niet behalen van de opgestelde leefbaarheidseisen van de overheid;
- Slecht onderhoud.

Belang ten aanzien van matrixsignaalgevers:

- Belangen verandering in prestatiecontracten omdat ze minder afhankelijk worden van de overheid;
- Mogelijke verminderde budgetten voor bouwactiviteiten.

Private partijen: ontwikkeling van hard- en software

Private partijen die zich richten op de ontwikkeling van hard- en software binnen de verkeerskunde streven naar innovatieve ontwikkelingen om de automobilist van meer comfort te voorzien door o.a. de doorstroming te verhogen. De rollen die behoren bij de private partijen zijn:

- Automobilisten voorzien van de juiste routeinformatie;
- Automobilisten voorzien van andere betrouwbare informatie;
- Veiligheid van reizigers waarborgen.

De doelen:

- *Creëren van een markt* of vergroten van marktpositie;
- Innovatie bijvoorbeeld ten aanzien van gebruik van nieuwe in-car systemen;
- Winstgevend verdienmodel ontwikkelen.

De middelen waarmee private partijen te werk gaan:

- Floating data op basis van GPS gegevens;
- In-car intelligentie.

Risico's

- Beperkte toegang tot de beleidsagenda;
- Weinig beleidsvoorschriften over toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot in-car systemen;
- Weinig inzicht hoe de informatie centraal gestuurd kan worden;
- Verantwoordelijkheden voor updates ligt bij de consument zodra apparatuur in gebruik wordt genomen door consument.

Belang ten aanzien van matrixsignaalgevers;

- Belang bij investeringen in in-car systemen

De automobilist/Belangenbehartigers voor de automobilisten:

- Automobilisten hebben individuele belangen, maar worden collectief vertegenwoordigd door belangenbehartigers. De rollen die behoren bij de belangenbehartigers zijn:
- Belangen van automobilisten behartigen;
- Snelle reistijden bevorderen;
- Automobilisten voorzien van andere betrouwbare informatie;
- Veiligheid van automobilisten waarborgen.

BEGRIPPENKADER

Matrixborden/matrixsignaalgevers/verkeerssignalering

Dit onderzoek richt zich op *matrixborden*, die ook als *matrixsignaalgevers* of als *verkeerssignalering* worden aangeduid. Om de leesbaarheid te bevorderen wordt hier de term *matrixborden* gebruikt. Matrixborden zijn onderdeel van Motorway Traffic Management (MTM) dat weer een onderdeel is van het Dynamisch verkeersmanagement (DVM).

ONDERDELEN THEORETISCH KADER

Deze bijlage richt zich op verschillende theoretische onderbouwingen die de bevindingen in hoofdstuk 2 en 3 ondersteund. Paragraaf 5.1 beschrijft de fundamentele verkeersdiagrammen, die o.a. de basisvormen voor het berekenen van de snelheid in het beslismodel. Vervolgens beschrijft paragraaf 5.2. de verschillende criteria voor de selectie van kwetsbare weggedeeltes. In 5.3. worden (alle) mogelijke files locaties beschreven. Tot slot beschrijft 5.4 de keuze van het verkeersmodel “verticale wachtrij”.

5.1. Fundamentele verkeersdiagrammen

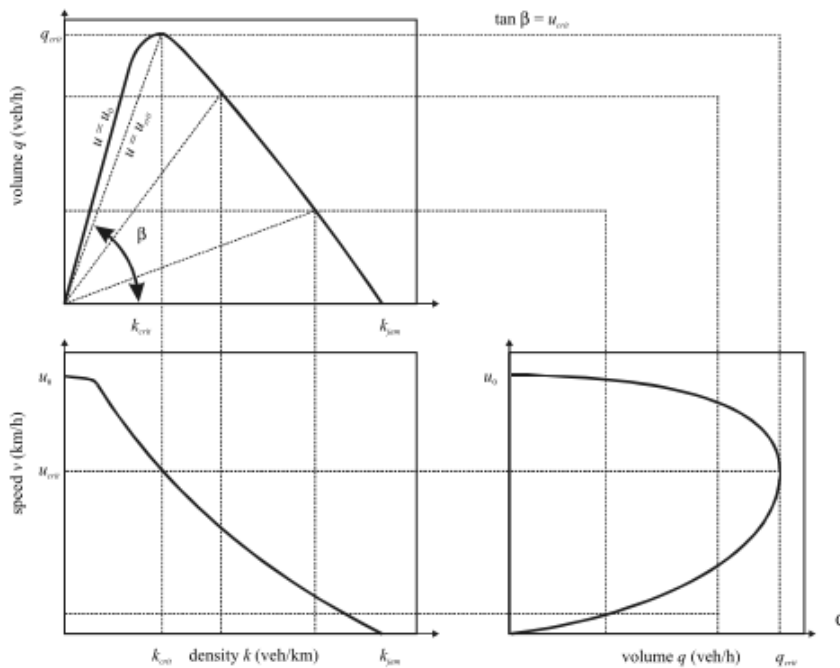
Op macroscopisch niveau worden de relaties tussen de grootheden beschreven in de fundamentele diagrammen die in figuur 4.1 zijn weergegeven. De relaties tussen de grootheden zijn als volgt (Hoogendoorn, 2010):

Intensiteit – Dichtheid	$q = q(k)$
Snelheid – Dichtheid	$u = u(k)$
Snelheid – Intensiteit	$u = u(q)$

Voor het bepalen van de verkeersdiagrammen kan als twee van de drie parameters bekend zijn de informatie worden afgeleid. De parameters die zijn weergegeven in figuur 4.1 zijn:

- q_{crit} = Maximale intensiteit (voertuigen per uur)
- K_{crit} = Kritieke dichtheid bij maximale intensiteit (voertuigen per kilometer)
- k_{jam} = Maximale dichtheid (maximaal aantal voertuigen per kilometer)
- u_0 = Gemiddelde snelheid in freeflow (ongehinderde doostroming) (kilometer per uur)
- u_{crit} = Gemiddelde snelheid bij maximale intensiteit (kilometer per uur)

Figuur 4. Fundamentele verkeersdiagrammen



(Bron: May (1990))

Deze verkeerskundige fundamentele diagrammen representeren een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Net als het bereik van deze fundamentele diagrammen dat sterk verschilt per weg zijn ook de waardes van de variabelen – waarin de functies af- en toenemen afhankelijk van de type weg. Zo kan bijvoorbeeld het ene wegvak gevoeliger zijn voor een file als een ander wegvak, waardoor de hellingshoeken van de functies veranderen. Dit komt omdat onder andere per wegvak de wegconfiguratie verschilt, de omvang van impact van een verandering in de wegconfiguratie anders is en andere externe factoren zoals de weersomstandigheden en het gedrag van automobilisten een rol spelen.

De rechterfiguur (36), de hyperbool, is een functie waarbij de snelheid (km/uur) is afgezet tegen de intensiteit (motorvoertuigen/uur). De bovenkant van de hyperbool beschrijft de afname in snelheid naarmate de intensiteit op de weg hoger wordt. Zodra de hyperbool nadert naar de maximale intensiteit, ook wel capaciteit genoemd, neemt de snelheid (exponentieel) af. Wanneer de verkeersstroom zich in deze fase bevindt, wordt er gesproken van file. Dat de snelheid sterk afneemt wanneer de verkeersdichtheid toe neemt is te zien in de figuur links beneden. Daarbij blijkt dat wanneer de maximale intensiteit bereikt is de snelheid minimaal is. In de figuur links boven tenslotte is de intensiteit afgezet tegen de dichtheid. De top van deze functie beschrijft de kritische grens (k_{crit}). Vanaf deze fase bevinden voertuigen zich in een kritische fase waarbij de capaciteit van de weg de doorstroming beperkt. Wanneer de maximale intensiteit niet kan toenemen ontstaat er file. De waardes van de fundamentele diagrammen zijn onder andere afhankelijk van de verkeerssamenstelling; de wegconfiguratie en de manier waarop automobilisten anticiperen op hen voorganger. De microscopische variabelen (snelheid; volgtijd- en volgafstand) zijn hierbij van invloed. De duur en lengte van de ontstane file is afhankelijk van veel andere factoren waaronder de capaciteitsval (figuur 39) aan de orde komt.

5.2. Filelocaties

TNO beschrijft zes filelocaties die heironder worden weergegeven. Tevens is de relatie tot matrixborden aangegeven en of de filelocatie al of niet wordt meegenomen in dit onderzoek.

- *Locaties waar veel schokgolven voorkomen*

Schokgolven ontstaan op drukke trajecten en kunnen zich over een lange lengte verplaatsen. De beweging van deze schokgolven heeft nadelige gevolgen voor de capaciteit van weggedeeltes, waardoor schokgolven infrastructurele files kunnen veroorzaken en omgekeerd. Schokgolven kunnen verminderd worden door lokale maatregelen te nemen op de locatie waar vaak schokgolven ontstaan, zoals invoegstroken. Een andere manier om schokgolven aan te pakken is het gebruik van dynamische verkeerssignalering (Dynamax). Dynamax wordt gebruikt om de instroom op een meer continue basis te controleren. Het heeft een dynamischer effect dan AID. Deze locaties worden niet meegenomen voor verder onderzoek, omdat het algoritme Dynamax niet wordt bekeken.

- *Locaties waar veel incidenten voorkomen*

Locaties waar veel ongelukken gebeuren zijn opritten, afritten en weefvakken. Ringwegen zijn wegen met veel op- en afritten, waardoor deze wegen gevoelig zijn voor ongelukken. Ook hebben ongelukken op deze wegen grote gevolgen voor het onderliggend wegennet en de bereikbaarheid van (economische)-toplocaties. Het is dus van belang om de incidenten op deze wegen te beperken. Naast verkeerssignalering zijn er andere projecten die zich richten op verkeersveiligheid, zoals incidentmanagement, waarbij wordt nagegaan of bijvoorbeeld een langere invoegstrook de kans op ongelukken vermindert. Ook monitoring van het wegverkeer om ongelukken sneller waar te nemen valt hieronder, maar incident management valt buiten de scope van dit onderzoek evenals deze filelocatie.

- *Locaties waar restcapaciteit beschikbaar is*

Deze locaties ervaren gedurende de spits file, maar hebben wel nog restcapaciteit. Dat wil zeggen dat er een kleine marge is waarbij de intensiteit van de verkeersstroom kan toenemen in vergelijking met de daluren en zal er op piekmomenten file ontstaan. De omvang van de restcapaciteit en hoe dit varieert in de tijd is sterk verschillend per wegvak. Echter, voor veel infrastructurele files met de zwaarste vertragingen is er nauwelijks sprake van restcapaciteit. Voor die locaties met een aanzienlijke restcapaciteit is spits mijden interessant en daarvoor zijn maatregelen gerelateerd aan “Het Nieuwe Werken” voor de hand liggend. Echter deze locaties lenen zich niet goed voor een onderzoek naar de effecten van matrixborden en deze zullen niet worden meegenomen in dit onderzoek.

- *Locaties waar “rijdende files” voorkomen*

Rijdende files zijn files die gestimuleerd worden door verkeersmaatregelen waaronder de snelheidsdeken. Op rijstroken waar sprake is van rijdende files wordt veel verkeer afgewikkeld met een aanzienlijke snelheid, zonder dat de verkeersstroom omslaat in file. Benuttingsmaatregelen, vaak in combinatie met andere maatregelen, zorgen ervoor dat deze verkeersstroom niet omslaat. Rijdende files, waarbij de functionaliteit homogeniseren wordt geactiveerd worden onderzocht in dit onderzoek,

- *Locaties waar files zorgen voor nieuwe files op aansluitende locaties in het verkeersnetwerk.*

Hiervan is sprake wanneer de capaciteit op een weg of wegdeel vermindert door het effect van een schokgolf of infrastructurele file op een aansluitende weg of wegdeel. Doordat de capaciteit vermindert, worden andere wegen of wegdelen gevoeliger voor file. Matrixborden kunnen er voor zorgen dat de instroom van de intensiteit beperkt wordt, waardoor de file wordt uitgesteld. Deze locaties zullen daarom wel worden meegenomen in dit onderzoek. Echter, locaties waar het algoritme Dynamax wordt toegepast om schokgolven te begeleiden worden niet meegenomen. Kortom er wordt afgebakend op twee randvoorwaarden. Ten eerste wordt er afgebakend naar kwetsbare weggedeeltes waarbij, als er gekeken wordt naar snelheidsalgoritmes, de functionaliteiten homogeniseren en AID actief zijn. Een tweede randvoorwaarde volgt uit de uiteenzetting ‘relatie impact’.

- *Infrastructurele files*

Infrastructurele files komen structureel voor en benuttingsmaatregelen zijn ontoereikend voor het verminderen of oplossen van de file. Fysiek uitbreiden van het wegennet is dan een voor de hand liggende oplossing. Echter op sommige locaties zijn geen fysieke uitbreidingen

mogelijk en zijn toch andere benuttingsmaatregelen noodzakelijk, zoals matrixborden. Deze locaties zullen ook worden meegenomen in dit onderzoek.

5.3. Keuze verkeersmodel

Wiskundige verkeersmodellen worden gebruikt om veranderingen van het effect op de verkeersstroom te meten, waarbij veranderingen in de intensiteit en capaciteit over de tijd worden gemeten. Verkeersmodellen lenen zich hier goed voor omdat zij inzicht geven in huidige en eventuele toekomstige verkeersstromen. Verkeersmodellen verschillen niet alleen in aggregatieniveau (macro- en micro niveau) zoals besproken in hoofdstuk 2, maar kunnen ook verschillen in:

- Weergaven van de verschillende verkeerstoestanden (file; vertraging etc);
- De methodiek van het verkeersmodel;
- Het doel voor de toepassing van het verkeersmodel;
- Het type modelstudie;
- De tijdsfunctie waarover het verkeersmodel loopt.

Verkeersmodel op macroniveau

Een verkeersmodel kan verschillende verkeerstoestanden beschrijven op macroniveau. Voor het in kaart brengen van bottlenecks wordt de relatie tussen de macroscopische grootheden intensiteit en snelheid gelegd. Het verkeersmodel maakt dus gebruik van de interpretatie van fysische wetten (van Nes, 2011). Andere modellen kunnen gebruik maken van bijvoorbeeld inductieve benadering, waarbij er van een generisch model met parameters wordt uitgegaan aan de hand van metingen worden bepaald.

Methodiek ondersteunend verkeersmodel

Verkeersmodellen gebruiken verschillende methoden, afhankelijk van het doel en andere factoren. Het verkeersmodel zal op basis van input waarde activeren en veranderingen doorrekenen. De input waarde die hierbij de determinanten; file en matrixsignaalgevers activeert zijn:

- Capaciteit
- Tijd
- I/C verhoudingen

Daarnaast zal op basis van een kans verhouding tussen verschillende type wegdelen het aantal ongevallen per weggedeelte worden bepaald. Uiteindelijk is de output van het verkeersmodel de input om de verschillen tussen de baten van de studiegebieden door te rekenen.

Doeleinde verkeersmodel

Verkeersmodellen hebben verschillende doelen, maar voor dit onderzoek zal de keuze vallen op een model dat een ondersteunende functie heeft bij het in kaart brengen van de effecten van matrixborden op de verkeersstroom. De keuze van een verkeersmodel binnen dit onderzoek zal de voorkeur geven aan een verkeersmodel waarbij veranderingen in de grootheden intensiteit; snelheid en maximale intensiteit gemakkelijk aan te passen zijn.

Verkeersmodellen naar toedelingsfunctie

Verkeersmodellen kunnen tevens onderscheiden worden in statische en dynamische verkeersmodellen. Bij statische modellen wordt er geen rekening gehouden met de dynamiek en terugslag van de file. Bij statische modellen wordt gebruik gemaakt van herkomst-bestemmingsmatrixen, waarbij een bepaalde productie- en attractieniveau wordt aangegeven met een toedeling van het aantal mensen dat via bepaalde trajecten reist.

Dynamische modellen daarentegen houden wel rekening met capaciteitsrestricties in het netwerk die ontstaan door een verandering in intensiteit of een beperking in de capaciteit door WIU of ongelukken. Een dynamisch verkeersmodel heeft tevens als voordeel dat het gebruikt wordt als prestatiemiddel bij wegbeheerders zoals Rijkswaterstaat waarbij effect veranderingen vooraf getoetst kunnen worden. De keuze is dus voor een dynamisch model.

Verkeersmodel naar functie en tijd

De ontwikkeling van files wordt beschreven aan de hand van de verkeerskundige diagrammen, zoals besproken in hoofdstuk 2. Verkeersmodellen worden discreet of continu in tijd gemodelleerd. Afhankelijk van het type model worden de onafhankelijke variabelen, tijd en plaats, als discrete- of continue variabelen gemodelleerd. Bij een continue verdeling wordt er gebruik gemaakt van horizontale wachtrijmodellen. Dit zijn modellen waarbij over ruimte en tijd de vertraging wordt waargenomen, omdat de schokgolf die ontstaat bij een file wordt meegerekend. Als er voor verschillende tijdsperioden wordt gekeken naar de vertraging die ontstaat door een bottleneck, en de bezetting in tijd en ruimte achter de file niet van belang is wordt er gebruik gemaakt van verticale wachtrijtheorie (zie 3.5).

Verticale wachtrijtheorie

Volgens de verticale wachtrijtheorie geldt als uitgangspunt dat voor elke verkeersstroom het aantal auto's gemeten kan worden langs een bepaald punt in de tijd, en een wachtrij verticaal wordt opgestapeld. Binnen de verkeerskunde wordt dit beschreven aan de hand van een cumulatieve plot $N(t)$, die cumulatief het aantal auto's weergeeft dat op een bepaald punt x in de tijd t passeert vanaf een beginwaarde (0). De cumulatieve functie telt het aantal inkomende voertuigen dat gelijk is aan de functie:

$$\frac{dN}{dt} = q_{in} \quad (1)$$

N = aantal passerende voertuigen
 t = tijd (uur)
 q_{in} = aantal auto's per uur

De cumulatieve functie wordt beschreven als:

$$N = \int q dt \quad (2)$$

N = aantal passerende voertuigen
 q = aantal auto's over de tijd

Een verticaal wachtrijmodel wordt beschreven als een model waarbij de inkomende stroom ongelimiteerd is en de uitgaande stroom beperkt wordt door de gegeven capaciteit (Q_{max}) van het tracédeel (Knoop, 2012). Waarbij de inkomende stroom voertuigen, dat groter is dan de toegelaten maximale stroom van de bottleneck, in de wachtrij komen te staan. Kenmerkend voor het verticale wachtrijmodel is dat de auto's in de wachtrij geen ruimte in beslag nemen, de auto's staan "verticaal" in de wachtrij.

Het figuur hierboven geeft cumulatieve curves weer met betrekking tot de inkomende en uitgaande verkeersstroom zoals die toegepast worden binnen de verticale wachtrijtheorie (Knoop, 2012). Tevens geeft dit aan welke informatie uit de inkomende en uitgaande stroom verkregen kan worden, wanneer er een vertraagde afwikkeling plaatsvindt. Aan de hand van de afstand tussen de inkomende en uitgaande curve kan verticaal het aantal auto's gemeten worden dat op tijdstip t passeert, met behulp van onderstaande formule.

Om vervolgens inzicht te krijgen hoelang de automobilisten langer over het weggedeelte rijden geeft de horizontale lijn de extra reistijd weer van het voertuig over dat specifieke weggedeelte. Over de verschillende auto's die het punt x passeren. Deze berekening wordt uitgevoerd door de integraal te nemen het weggedeelte.

$$Totale\ verliestijd = \int t_q dq \quad (3)$$

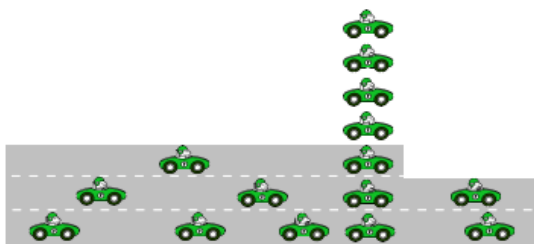
Waarbij:

$$t_q = \text{reistijd per } N\text{th auto}$$

Keuze verticaal wachtrijmodel

Het voordeel van verticale wachtrijmodellen is dat het een vereenvoudigd wiskundig model biedt, waarbij geen rekening gehouden wordt met de terugslag van file. Voertuigen rijden niet langzamer als de free-flow tot dat de file bereikt wordt. Kortom, automobilisten ondervinden geen vertraging bij het naderen van de file. Een nadeel aan het gebruik van verticale wachtrijtheorieën als dynamisch model is de beperking in het doorrekenen van de terugslag van file. De meeste dynamische modellen geven de automobilist namelijk weer als een schokgolfverplaatsing. In verticale wachtrijmodellen daarentegen worden voertuigen “verticaal” op elkaar gestapeld. Dat het “verticaal stapelen van de file” volgens dit model geen invloed heeft op de resultaten heeft ermee te maken dat effecten op knooppunten en onderliggend wegennet niet worden berekend, maar kwalitatief worden beschreven. Daarom is ervoor gekozen om de file te berekenen met verticale wachtrijmodellen.

Figuur 5. Visualisatie ‘verticale wachtrij’



5.4. Criteria selectie kwetsbare weggedeeltes

Uit het onderzoek van Knoop (2010) zijn de meest relevante selectiecriteria voor dit onderzoek gehaald die toe te passen zijn op het meten van de veranderingen op de prestatie-indicatoren bereikbaarheid en veiligheid. Vervolgens is van belang om de mate van

impact op de prestatie-indicatoren met en zonder matrixborden te meten. De impactrelaties zijn:

Figuur 6 Impact relaties voor kwetsbare weggedeeltes

1. $I_i^1 = q_i / (1 - q_i / C_i)$
2. $I_i^2 = \frac{1}{L_i / q_i (l_i * k_{ji} - q_i / v_{fi})}$
3. $I_i^3 = \begin{cases} q_i / (1 - q_i / C_i) & \text{if } C_i \leq 2500 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
4. $I_i^4 = (q_i / (1 - q_i / C_i)) * p_i = I_i^1 * p_i$
5. $I_i^5 = I_i^2 * p_i * \sum_{\text{upstream links } j \text{ of } i} I_j^1$
6. $I_i^6 = I_i^3 * p_i * \sum_{\text{upstream links } j \text{ of } i} I_j^1$
7. $I_i^7 = \sum_{\text{upstream links } j \text{ of } i} I_j^1$
8. $I_i^8 = q_i / C_i$
9. $I_i^9 = q_i - C_i^b$
10. $I_i^{10} = \text{risk of gridlock}$
11. $I_i^{11} = \text{risk by limited availability of alternative routes}$

With parameters for each link i : I_i^n criterion n for link i
 q_i flow on link i (pcu/hour)
 C_i capacity on link i (pcu/hour)
 C_i^b remaining capacity on link i at blocking (pcu/hour)
 v_{fi} free flow speed on link i
 k_{ji} jam density of link i
 L_i length of link i
 l_i number of lanes on link i
 p_i incident probability on link i

Per criterium kan er gekeken worden naar de betekenis en de vertaling van de theorie naar de praktijk. Het eerste criterium, de incident impact, geeft aan dat de intensiteit bepalend is voor de impact, waarbij de grootte van de intensiteit bepalend is voor de impactfactor. Criterium 2 beschrijft het gedrag van het verkeer dat zich voordoet op link i . De noemer geeft aan hoelang de file erover doet om stroomopwaarts het verkeer te beïnvloeden. De formule geeft weer dat de snelheid van de terugslag van file van groot belang is voor het bepalen van de impact factor. De formule voor criterium 3 beschrijft grotendeels hetzelfde als criterium 1; maar dan voor een beperkte capaciteit. In formule 4 wordt het risico aangegeven als de kans maal gevolg op de weg. Terwijl uit criterium 1 is gebleken dat de intensiteit bepalend is voor de grote van de impact, geeft deze formule de mate van impact die ontstaat door een incident. Formules 5 en 6 beschrijven de impact van de terugslag van file stroomopwaarts. In formule 7 wordt de som van alle risico links stroomopwaarts weergegeven. Formule 8, gebruikt de klassieke manier, de intensiteit-capaciteit (I/C) ratio, om de kwetsbaarheid van het wegennet weer te geven. De beschikbaarheid van een weggedeelte en aansluitend wegennet wordt beschreven in formule 10. Hoe meer

intensiteit de capaciteit nadert, hoe groter de kans is op file, waardoor vervolgens andere wegen geblokkeerd kunnen worden door de file. Formule 11 beschrijft de toenemende impact van file naarmate de kans op alternatieve routes beperkt is.

Aan de hand van bovenstaande formules kan de impact van kwetsbare weggedeelten vergeleken worden. De formules 10 en 11 worden niet kwantitatief bepaald, maar het risico en daarmee de impact van files voor het aansluitende wegennetwerk en de bereikbaarheid van topsectoren wordt per studiegebied vergeleken en beschreven.

De criteria die relevant zijn voor het selecteren van de kwetsbare gebieden zijn de criteria 1, 4, en 8. Criterium 1 geeft de grootte van de intensiteit aan die bepalend is voor de impactfactor en hangt nauw samen met criterium 4 waarbij de impact mede bepaald wordt door de kans dat de gebeurtenis voorkomt op het weggedeelte. Tot slot past criterium 8 binnen het onderzoek omdat het de I/C verhouding weergeeft. Dit criterium geeft weer dat de kans en de impact van knelpunten op een weggedeelte hoger is bij een hogere I/C verhouding. Dit komt overeen met gevonden literatuur waarbij de kans op ongelukken hoger is bij filevorming. Criteria 7,9, 10 en 11 zijn interessant maar vallen voor de kwantificatie buiten de afbakening van het onderzoek. Wel worden deze effecten waar mogelijk kwalitatief beschreven.

BIJLAGE 6 PRESTATIE-INDICATOREN EN EFFECTSTUDIES

Bijlage 6 zet in een tabel de gevonden resultaten van verschillende wetenschappelijke- en praktische studies uiteen, met als doel inzicht te geven over de verscheidenheid aan gemeten effecten. In onderstaande tabel nummer 2, is een overzicht gepresenteerd van de verschillende studies naar effecten van verkeerssignalering in Nederland die in dit onderzoek zijn gebruikt.

6.1. Resultaten Effectstudies

Tabel 2. Overzicht van resultaten effectstudies verkeerssignalering

Jaar	Titel	Onderzoekers	Resultaten
1979	Self-sufficient control of speed on freeways	Zackor	<ul style="list-style-type: none"> - Capaciteit + 5 procent - Snelheid + 10 procent
1983	Evaluatie van de externe effecten van het verkeerssignaleringssysteem voor autosnelwegen	Prof. Ir.J.L. de Kroes Drs. P. Donk Drs. S.J. de Klein	<ul style="list-style-type: none"> - Doorstroming + 4.5 procent - Capaciteit +1 / + 2 procent - Aantal verkeersongevallen – 23.6 procent
1987	Verkeerssignalering en verkeersveiligheid	ANWB Rai NVVA	<ul style="list-style-type: none"> - Capaciteit + 5 procent - Aantal verkeersongevallen – 16 procent
1994	Effecten van verkeerssignalering op capaciteiten	Adviesdienst Verkeer en Vervoer Goudappel Coffeng bv.	<ul style="list-style-type: none"> - Capaciteit + 5.20 procent - Capaciteit + 2.50 procent
2000	Evaluatie verkeerssignalering A58	R. Cellissen Rijkswaterstaat	<ul style="list-style-type: none"> - Algemeen verkeersaanbod +3,60 procent - Aantal verkeersongevallen – 15 / 25 procent - Aantal secundaire verkeersongevallen – 40 / -50 procent
2001	Effecten DVM maatregelen A2 Den Bosch - Eindhoven	Grontmij	<ul style="list-style-type: none"> - Capaciteit + 5 procent
2006	Evaluatie verkeersmaatregelen A28	DHV	<ul style="list-style-type: none"> - Doorstroming positief - Verkeersveiligheid onvoldoende bekend

2008	Effects of Variable Speed Limits on Motorway Traffic Flow	M. Papageouriou E. Kosmatopoulos L. Papamichail	- Capaciteit + 5,20 procent - Doorstroming + 10 procent - Aantal totale verkeersongevallen -20 / -30 procent
2009	Verklaring van de bereikbaarheid van het hoofdwegennet 2007-2010	KiM	- Reistijd + 6 procent
2000	Netwerkprestaties van DVM-Maatregelen	Drs. i. Veling Ing. E. Kleim	- Capaciteit + 12 procent
2011	Evaluation of the Impact of Advisory Variable Speed Limits of Motorway Capacity and Level of Service	A. Nissan H.N. Koutsopoulosb	- Totale verkeersongevallen -27 procent - Totale secundaire verkeersongevallen – 7 / - 10 procent
2011	Evaluatie experimenten Dynamax 130 km/h	Arcadis Rijkswaterstaat	- Geen invloed op het aantal files - Kleine toename verkeersveiligheid
2012	Effectiviteit van verkeersveiligheidsmaatregelen	S. Reekmans E. Nuyts R. Cuyvers	- Totale verkeersongevallen -15/-25 procent

De bovenstaande uiteenzetting van de verschillende effectstudies geeft aan dat er sprake is van een grote verscheidenheid aan metingen voor onder andere de eerste-orde variabelen, 4. Om dit nader toe te lichten worden hieronder een drietal effectstudies gepresenteerd, waarbij de onzekerheden en differentiatie van resultaten betreffende effecten van matrixborden naar voren komt.

Effecten van verkeerssignalering op capaciteiten (AVV, 2002)

In eerdere studies, (AVV, 1994), door dezelfde onderzoekers zijn snelheids- en intensiteitsmetingen verricht voor- en na de plaatsing van verkeerssignalering. Bij de voormeting zijn over een aantal (droge) uren op twee donderdagen en twee vrijdagmiddagen metingen verricht op de bottleneck-locatie A19 E28.7 (AVV, 1994). Bij de nameting is gebruik gemaakt van de MTM-MARE gegevens, waarbij deze gegevens zijn geaggregeerd naar minuut-en rijbaanniveau. De product-limiet methode is toegepast om op basis van deze gegevens de capaciteit in te schatten. De gebruikte data moest aan de volgende criteria voor congestie voldoen (AVV, 1994):

1. Een gemiddelde kwartiersnelheid van minder van 70 km/uur
2. De capaciteit wordt gedefinieerd als de intensiteit waarbij de kans op het optreden van congestie 50% is.

Na het toepassen van de product-limiet methode is gebleken dat er een groter verkeersaanbod wordt verwerkt. Volgens de definitie van het onderzoek is er bij hetzelfde verkeersaanbod een kleinere kans op congestie door toepassen van verkeerssignalering. De capaciteit is toegenomen met 5.2%.

Analyse van dit onderzoek leidt tot de volgende vraag- en discussiepunten:

1. Hoe nauwkeurig was de voormeting?
1. Is de gebruikte definitie van capaciteit vergelijkbaar met andere onderzoeken?
2. Is er sprake van ruis tussen onderzoeken over de begrippen intensiteit en capaciteit?

Effecten DVM-maatregelen A2 Den Bosch-Eindhoven (Grontmij, 2001)

Het doel van de A2-effectstudie is het onderzoeken van de invloed van de DVM-maatregelen signalering en inhaalverbod vrachtverkeer over de periode 1995-2000. De analyse is gebaseerd op gegevens met betrekking tot intensiteit, ongevallen en filegegevens van de AVV tussen 1995 en 2000. Er is vanuit gegaan dat de gemeten effecten maatgevend zijn en gebruikt mogen worden bij andere onderzoeksgebieden. Het effect van matrixborden is berekend op 1.05 en van vrachtwagens op 1.09, waarbij dit het verhoudingsgetal is tussen de capaciteit van de weg gemeten vóór en ná de maatregel. Door middel van een regressieanalyse is nagegaan of deze combinatie aan maatregelen veranderingen in de intensiteit bewerkstelligt. Er is geen positieve trend gevonden voor het aantal files en de filezwaarte per traject sinds de invoering van MTM-signalering. Dit is mogelijk te verklaren door de fysieke uitbreiding van het wegennetwerk.

Verder is de filezwaarte per voertuigkilometer onderzocht. Daaruit blijkt dat het aantal voertuigkilometers minder snel toeneemt dan de filezwaarte. Grontmij concludeert daarom dat de verkeershinder is afgenomen en dat MTM-signalering een positief effect heeft. Verder stelt Grontmij vast dat op basis van de combinatie van de invoering van matrixborden en het en inhaalverbod voor vrachtauto's een toename van 5% van de capaciteit heeft plaatsgevonden

Het onderzoek doet de volgende aanbevelingen:

- Gegevens uit Monica zijn beter voor de bepaling van file lengte, capaciteit en file locatie.
- Ter discussie kan gesteld worden of de effectiviteitsfactor correct is bepaald en toegepast kan worden op meerdere projecten.

Effecten verkeerssignalering A58 (Cellissen, 2000)

Op de A58 tussen Breda en Eindhoven is eind 1999 een signaleringssysteem aangelegd. Dit onderzoek heeft het effect van matrixborden op verkeersveiligheid en systeemgebruik gemeten. De evaluatiemethode uit de leidraad evaluaties verkeersbeheersingsmaatregelen in 1998 wordt in dit onderzoek gehanteerd.

De verkeersveiligheid is gebaseerd op de toenaderingssnelheid tot een file en het verschil in dichtheidsverloop. Dit onderzoek stelt vast dat de toenaderingssnelheid van voertuigen naar een file met 9 tot 18 % afneemt, aangezien; de voertuigen geleidelijk over het wegvak zijn verdeeld. De resultaten van dit onderzoek zijn interessant omdat hier wordt uitgegaan van het verkeersgedrag bij de overgang van een ongeremde voertuigstroom naar een congestiestroom. Bij eerdere onderzoeken is hier minder aandacht aan besteed.

6.2 Reistijdbetrouwbaarheid

“Betrouwbaarheid wordt omschreven als de “value of reliability” waarbij de waarde het verschil in de standaardafwijking t.o.v. de gehele trip is” (Fosgerau, 2002).

Reistijdbetrouwbaarheid is een mogelijke derde prestatie-indicator voor het bepalen van de verkeerskundige effecten op de verkeersstroom. Dit is echter een lastiger te meten prestatie-indicator en wordt daarom als tweede-orde effect beschouwd en dus niet op dezelfde manier meegenomen als de eerste orde effecten betrouwbaarheid/reistijd en veiligheid.

Binnen de verkeerskunde stellen VU et al (1998) dat de betrouwbaarheid van een afgelegde reis samenhangt met de vooraf verwachte kenmerken. Relevante kenmerken binnen de verkeerskunde zijn o.a.: reiskosten, reistijd en veiligheid. Daarnaast hangt betrouwbaarheid sterk samen met de variatie en de voorspelbaarheid van de reistijd (Bates). De variatie in reistijd wordt bepaald door een spreiding rondom een bepaalde verwachte waarde. Hierbij is het belangrijk te definiëren of de spreiding ten opzichte van de free-flow reistijd of van de gemiddelde reistijd tijdens de spitsuren wordt bekeken. Ten tweede, de voorspelbaarheid, wordt beschreven als de mate waarin reizigers van te voren met zekerheid kunnen zeggen hoelang ze over hun trip doen. Echter, niet alle vertragingen zijn immers voorspelbaar, omdat dit afhangt van de informatie waarover de automobilist beschikt. Binnen dit onderzoek wordt de voorspelbaarheid van een trip niet meegenomen. De betrouwbaarheid beschrijft de mate van spreiding rondom de gemiddelde reistijd (Uchida, 2014).

Om het effect van de matrixborden op de betrouwbaarheid te meten worden de gemiddelde reistijden uitgezet t.o.v. de spreiding in een normale verdeling. De gemiddelde reistijd is gedefinieerd als de reistijd die wordt ondervonden zonder verstoringen en de verwachte verliestijd. Deze definitie sluit het beste aan bij het in kaart brengen van de effecten van de matrixbord op de verkeersstroom in functie van de tijd.

Reistijdontbetrouwbaarheid vindt volgens Chen en Zhou (2010) zijn oorsprong zowel aan de vraagkant (automobilist) als de aanbodkant (infrastructuur). Hiermee worden de niet-structurele files bedoeld die onverwachts optreden als gevolg van bijvoorbeeld weersinvloeden, een variërende intensiteit aan auto's over de dag en ongelukken die de “benutte” capaciteit van de weg verlagen. Onderzoek van Jackson en Jucker (1982), Lam en Smaal (2001) en (Tan, Yang, & Guo, 2014) bevestigt deze bron van reistijdontbetrouwbaarheid. Kortom, het verkeersevenwicht tussen aanbod en vraag varieert continu door een veranderende verkeersstroom die bepaalt wordt door de keuze van automobilisten.

Hall (1983) en Lo et al. (2006) beschrijven betrouwbaarheid als een verschijnsel dat voortkomt uit de relatie tussen het reistijdbudget en de efficiënte reistijd. Het reistijdbudget wordt hierbij berekend als de som van de gemiddelde reistijd en een extra budget dat voortkomt uit de standaarddeviatie. Een ander verschijnsel dat beschreven wordt door Frank (1969) is het beschrijven van de kans dat een reis binnen de gegeven tijd voltooid kan worden. Hierbij wordt de routekeuze of tijd van vertrek afhankelijk gemaakt van de route waar het minste risico aangekoppeld zit. Een derde verschijnsel is de benadering van de gemiddelde-variantie dominantie door Sen et al. (2001). Hierbij wordt de gemiddelde variantie dominantie door middel van het minimaliseren van de kwadratische disnutfunctie bepaalt.

Immers uit recent onderzoek blijkt dat er meer aandacht is om betrouwbaarheid op een andere manier in kaart te brengen. Dit gebeurt door het vastzetten van de vraagzijde. Een voorbeeld van deze theorie is het model van van Nie (2011), waarbij elke automobilist streeft naar het minimaliseren van zijn eigen reistijd. Hierbij veranderen ongemerkt de routekeuzes van de individuele reizigers omdat reizigers zelfstandig een aanname maken over het risico dat ze willen ervaren tijdens hun reis. Binnen de verkeerskundige evenwichtsmodellen waarbij de vraag is gefixeerd, is de automobilist op de volgende manier beschreven: “De Reiziger die een route kiest met een grotere standaardafwijking eist een kleinere verwachte reistijd, waarbij hij geen genoegen neemt met een toenemend risico zodat de reiskosten niet dalen”(Tan et al., 2014).

De reistijdbetrouwbaarheid kan onderscheiden worden naar terugkerende en niet-terugkerende oorzaken van vertragingen. Hiermee wordt een onderscheid gemaakt naar het type file; infrastructurele file; file door wegwerkzaamheden en/of ongelukken. Bij terugkerende oorzaken worden structurele files veroorzaakt. Bij niet-terugkerende oorzaken is er sprake van ongelukken en WIU.

Er zijn verschillende manieren hoe reistijdbetrouwbaarheid gemeten zou kunnen worden. Bates et al (1987) classificeren reistijdbetrouwbaarheid in drie periodes, namelijk:

1. Spreiding gemeten tussen verschillende dagen; waarbij spreiding veroorzaakt wordt door seizoensinvloeden, dag-tot-dag variaties vanwege vraag fluctuaties, ongelukken, wegwerkzaamheden en weersinvloeden.
2. Spreiding gemeten tussen periodes en dagdelen; waarbij wordt de spreiding in vertrektijdstippen en de veranderingen in reistijd door files aangegeven.
3. Spreiding gemeten tussen voertuigen; waarbij wordt gekeken naar veranderingen op individueel rijgedrag en gedrag ten aanzien van verkeerssignalering.

Het grootste deel van bovenstaande onderzoeken betreffen de reistijdbetrouwbaarheid over een dag-tot-dag periode. Dit onderzoek focust zich niet op reistijdbetrouwbaarheid, maar in vervolgonderzoek zou de spreiding gemeten tussen periodes en dagdelen op macroniveau gekozen worden.

De toepassing van matrixborden op de reistijdbetrouwbaarheid is hedendaags beperkt, omdat matrixborden een gefixeerde locatie hebben. Hierdoor wordt de automobilist, bij het kiezen van een alternatief, vaak te laat gewaarschuwd. De automobilist weet namelijk niet dat er stroomafwaarts (afstand groter dan 2 km) file ontstaat die de AID activeert. Daardoor is de impact van de reistijdbetrouwbaarheid moeilijk vast te stellen. Echter een resultante op de effecten van totale voertuigverliesuren per automobilist over een langere periode komt wel tot uiting in de reistijdbetrouwbaarheid. Daarom spreken we van een tweede-orde effect.

BIJLAGE 7 EXPERT PANEL - EXPERT ELICITATION

Zoals aangegeven in de inleiding van hoofdstuk 4 is besloten om experts nader te ondervragen om te komen tot een eenduidige vaststelling van waarden voor belangrijke variabelen waarover geen overeenstemming is in de literatuur. In deze bijlage worden de keuzes voor bepaalde interviews en voor de methode van expert elicitation nader uiteengezet.

7.1. Keuze verkeersmodel

Het afnemen van interviews kan op kwalitatieve of kwantitatieve wijze plaatsvinden. Binnen dit onderzoek staat de kwantitatieve benadering centraal. Deze uitvoeringsvorm wordt toegepast wanneer de impact van technische onzekerheden bestaan op de beslissingsondersteunende processen onzeker is (Spaccasassi & Deleris, 2010). Welke methode wordt toegepast bij het ondervragen van expert is afhankelijk van de volgende richtlijnen volgens(Jorn Vatn, 2007):

- De doelstelling binnen het onderzoek;
- De toepassing van de resultaten uit het interview/enquête;
- De nauwkeurigheid en zekerheid van de acceptatie van de waarde van de effecten;
- De overeenstemming tussen de reeds bekende effecten.

Er zijn verschillende soorten kwantitatieve benaderingen bij het in kaart brengen van een risicoanalyse, zoals de Delphi methode, de scenario analyse en de cross impact analyse. Het doel van dit onderdeel van het onderzoek is het verminderen van de spreiding en de verschillende antwoorden over de effecten van matrixborden op de verkeersstroom.

Er zijn drie verschillende interviewtechnieken, namelijk open, half gestructureerd en gestructureerd. Bij een half gestructureerd interview is een aantal vragen op papier gezet, waarna vervolgens de invulling van het interview niet vast ligt. Dit heeft als voordeel dat er bij verschillende experts meer diepgang kan worden bereikt. Bij een open interview daarentegen is het onderwerp bekend, maar staan de vragen die gesteld worden niet vast. Het is dan moeilijker een vergelijking te maken tussen verschillende opvattingen en resultaten van experts. Bij een gestructureerd interview worden dezelfde vragen gesteld bij de respondenten, zodat antwoorden vergelijkbaar zijn.

Het voordeel van een gestructureerd interview is dat de experts minder ruimte krijgen tot beïnvloeding van de waarnemingen, waardoor er geen ruimte is tot beïnvloeding van het onderwerp zoals bij een open interview of half gestructureerd interview. Een nadeel van een gestructureerd interview is dat tijdens het interviewen de vragen niet mogen worden aangepast en dat alleen de informatie verkregen wordt over datgene wat gevraagd wordt. Voor een risicoanalyse is een gestructureerde aanpak nodig omdat het aantal variabele dat gebruikt wordt binnen het onderzoek een complexe samenhang heeft. Daarnaast is het van belang dat de interviewmethode waarde toevoegt aan de kwaliteit en risico vermindert over de reeds bekende effecten.

De tweede keuze die behoort tot het kiezen van de interview methode is de samenstelling van de doelgroep. Aangezien de interview methode een risico analyse betreft over specifieke verkeerskundige kennis waarbij een uitgebreide literatuurstudie aan vooraf is gegaan wordt het interview afgenomen bij een bewust samengesteld expert-panel dat in paragraaf x nader wordt toegelicht. Dit wordt ook bevestigd uit onderzoeken van Cooke als Goossens (Session et al., 2008) Uit deze onderzoeken is gebleken dat een performance-based combinatie van expert bevraging vaak meer voorzien is van informatie, statistische en accuratere data dan wanneer er gekeken wordt naar de resultaten van de beste expert of over de gemiddelde waarde.

Voor het in kaart brengen van onzekerheden, waarbij de kennis van de experts getest en gecombineerd worden is er een tweetal methodes te onderscheiden:

- Groepsbesluitvorming-conference consensus
- Gestructureerde expert bevragingen

Onder groepsbesluitvorming-conference consensus wordt vaak als eerste gedacht aan de expert bevraging delphi. Delphi is een gestructureerde expert bevraging waarbij de meningen van diverse experts gecombineerd wordt. Het is een iteratief proces waarbij de opvattingen en meningen van experts verzameld worden, geriewed en aangescherpt worden. Tot dat de opvatting door elke experts / het grootste deel van de experts over de toekomstvisie wordt geaccepteerd. De Delphi methode heeft als doel het leveren van een goed onderbouwde schatting waarbij de kennis van experts wordt uitgewisseld en gemaximaliseerd (James, Choy, & Mengersen, 2010)

Echter, bij een risico-analyse is het juist van belang dat experts elkaar niet beïnvloeden en antwoorden neutraal blijven. Daarom wordt er binnen dit onderzoek een gestructureerde expertbevraging uitgevoerd. Tabel 7 zet in een SWOT-analyse uiteen wat de belangrijkste beslisredenen zijn geweest voor expert elicitation, en de kansen die gecreëerd worden door de toepassing van expert elicitation.

Figuur 7. Expert Elicitation: SWOT analyse

Strenght

- Lage kosten
- Snelle afhandelingsmethode
- Gefocust op kwaliteit en experts

Weakeness

- Spreiding kan ontstaan door selecte groep experts
- Experts kunnen neigen naar eigen belang
- Herhaling van het interview zal mogelijk leiden tot andere antwoorden door herkenning van de methode

Threats

- Niet begrijpen van de interview methode
- Niet willen beantwoorden van de vragen
- Geen juiste focust van de variabele bij het stellen van de enquête vragen

Opportunities

- EE is een open analyse tool; daardoor is het resultaat her-produceerbaar
- De kennis van de experts zijn vergeleken met “bekende” informatie, waardoor experts met betrouwbaardere en een hoger informatie gehalte zwaarder meewegen
- Statistische analyse zorgt er voor dat over diverse resultaten uit voorgaande projecten meer eenheid gevormd wordt.

Er zijn drie verschillende doelstellingen waarbij gebruikt wordt gemaakt van gestructureerde expert bevragingen, volgens Cooke (Ryan, Mazzuchi, Ryan, Lopez de la Cruz, & Cooke, 2012)

- Het bereiken van een politieke overeenstemming van wetenschappelijke issues;
- Het verkrijgen van overeenstemming tussen verschillende wetenschappelijke opinies;
- Het ontwikkelen van een op rationeel bewijs gebaseerde overeenkomst van wetenschappelijke belangen.

7.2. Opbouw interview seed en target variabelen

Binnen dit onderzoek is expert elicitation toegepast met als doel overeenstemming te verkrijgen met betrekking tot de verschillende onderzoeksresultaten over matrixborden op de Rijkswegen in Nederland. De basis van deze methode is gepresenteerd in 4.1. De opbouw van het interview bestaat uit een eerste deel van seed variabelen het tweede deel beslaat de target variabelen.

Seed variabelen

De seed variabelen zijn de fundamentele vragen die de betrouwbaarheid van de expert beoordelen. De waarde van de seedvragen mag daarom niet onderschat worden. De kracht van een seed variabele ligt in het formuleren van de vraag, en vergt een uiterst sterke omschrijving van een variabele waarop de experts antwoord dienen te geven. Opeenvolgend is er per categorie uitleg gegeven welke keuzes er zijn gemaakt om te komen tot concrete vraagstellingen.

Capaciteitsveranderingen- seed vragen

De vragen met betrekking tot de capaciteit hebben als doel inzicht te krijgen in de kennis van de expert met betrekking tot de maximale intensiteit van voertuigen op een specifieke rijksweg binnen een concreet gedefinieerde wegconfiguratie. Het antwoord dat hier wordt gevonden uit de capaciteitscalculator zal hoogstwaarschijnlijk aanzienlijk variëren, omdat er verschillende manieren zijn van berekeningen zijn. Echter, door het stellen van meerdere vragen met betrekking tot dit onderwerp wordt de expert geprikkeld tot meerdere concrete antwoorden waardoor een betrouwbaar beeld verkregen wordt over de categorie capaciteit. De betekenis die de antwoorden van de experts geven aan het onderzoek betreft het kwantificeren van de betrouwbaarheid van de experts op hun verkeerskundige inzicht met betrekking tot de diverse wegconfiguraties en de daarbij behorende capaciteitsveranderingen van verschillende soorten Rijkswegen.

Verkeersveiligheid – seed vragen

Vragen met betrekking tot verkeersveiligheid focussen zich op de meest essentiële kostenpost behorende tot de verkeersveiligheid, namelijk verkeersongevallen. Er is uit de literatuurstudie gebleken dat diverse metingen naar de effecten van matrixsignaalgevers op verkeersongevallen leiden tot verschillende resultaten. Ten tweede blijkt uit literatuurstudie dat de secundaire verkeersongevallen aanzienlijk afnemen. Om enigszins zicht te krijgen op de kennis van de experts van dit onderwerp zijn er enkele vragen opgenomen die fungeren als seed variabelen met betrekking tot het aantal verkeersongevallen en het aantal secundaire verkeersongevallen.

(Opvolg)gedrag van de automobilisten- seed vragen

Gedrag is een lastig definieerbaar woord, waarbij elk individu gedrag anders expliciet maakt of mee laat weten in zijn opinie. Ondanks de problematische definitie van gedrag en de interpretatie van gedrag is het belangrijk inzichtelijk te maken welke experts een hoge informatief gehalte hebben aangaande deze categorie. Deze categorie heeft overlap met de psychologie in de verkeerskunde en zal daarom een extra dimensie geven binnen dit onderzoek, waarop het expert-panel is aangepast. De vragen zijn gericht op opvolggedrag van de snelheden van de matrixsignaalgever en volgtijden. Volgtijden vormen de basis voor de bepaling van de capaciteit. Minuscule veranderingen in volgtijden hebben grotere effecten op de fundamentele verkeersdiagrammen, lees capaciteit.

Target variabelen

De target variabelen zijn de variabelen die gekwantificeerd worden. Het eindresultaat op deze target variabelen fungeert als input waarde voor het ondersteunend beslissingsmodel dat in hoofdstuk 5 wordt besproken. De target variabelen zijn meer in detail besproken, waarbij vragen verschillende functies van matrixborden en/of naar ontwerpsnelheden omvatten, namelijk:

Functionaliteiten	Ontwerpsnelheden
Homogeniseren	130 km/uur
Automatische Incident Detectie	120 km/uur
Pijl-Kruis	100 km/uur

De scenario's waarover effectveranderingen t.o.v. de situatie zónder matrixborden worden gemeten bestaan uit verschillende tussenafstanden van portalen. Uiteindelijk zijn in de enquête diverse vragen gesteld die gecombineerd kunnen worden binnen de scenario's die gebaseerd zijn op de volgende tussenafstanden:

1. 500 m versus géén verkeerssignalering
2. 1000 m versus géén verkeerssignalering
3. 1500 m versus géén verkeerssignalering

Aan het einde van ieder onderwerp is er ruimte om de functionaliteit Dynamax te bespreken (open vraag) en tot slot is aan het einde van het interview ruimte voor op/ aanmerkingen.

7.3. Randvoorwaarden bij het interview

Capaciteitsveranderingen – target vragen

Bij het samenstellen van de target vragen zijn de volgende randvoorwaarden in acht genomen:

- Een beperkt aantal vragen per categorie
- Functionaliteiten worden onderscheiden op hun algoritmes
- Weer en milieu algoritmes vallen buiten de afbakening van het onderzoek
- De functionaliteit Dynamax is als open vraag in verwerkt om eventuele uitbreiding binnen het onderzoek mogelijk te maken
- Het vragen naar een procentuele verandering zorgt tot het breed toepasbaar maken van de effecten op diverse rijkswegen.
- Omdat literatuur en gesprekken met verkeerskundigen van Transpute en RWS hebben geleid tot meer inzicht tot de verkeerskundige benadering van capaciteit is gekozen om een vraag in de enquête op te nemen die een onderscheid maakt tussen de randstad en buitengebieden waarbij matrixborden zijn geplaatst.

Verkeersongevallen- target vragen

Bij verkeersongevallen wordt een gelijke structuur in de vraagstelling gehanteerd, zoals bij de categorie 'capaciteitsveranderingen' ook is toegepast. Eerst wordt er gevraagd naar de totale verandering in verkeersongevallen, vervolgens naar de verandering in secundaire verkeersongevallen voor de verschillende uitvoeringsmaatregelen versus geen matrixborden. De functionaliteit kruis-pijl wordt voor het eerst als functionaliteit en uitvoeringsmaatregel meegenomen bij de kwantificering van secundaire verkeersongevallen.

Randvoorwaarden die gelden bij de target vragen voor verkeersongevallen:

- Er wordt uitgegaan van een verhouding 60% ernstige verkeersongevallen van het totaal aantal verkeersongevallen
- De functionaliteit Kruis-Pijl wordt alleen bekeken voor ad-hoc situaties. Voornamelijk zijn dit verkeersongevallen

- Wegwerkzaamheden worden over het algemeen ingepland, waardoor wegen zonder matrixsignaalgevers gebruik maken van de zogenaamde Mobiele Rijbaan Infrastructuur (MRI's). Er wordt hierbij vanuit gegaan dat beide uitvoeringsvormen van verkeerssignalering hetzelfde effect genereren op de verkeersstroom bij geplande wegwerkzaamheden.
- Bij het kwantificeren van de effecten op de secundaire verkeersongevallen wordt de functionaliteit homogeniseren niet meegenomen. De functionaliteit homogeniseren wordt namelijk per direct overgenomen door de AID functie wanneer er sprake is van file. Er zal daarom verkeerskundig gezien nooit een verandering in het aantal secundaire verkeersongevallen kunnen optreden door de functionaliteit homogeniseren.

Opvolggedrag-target vragen

Randvoorwaarden die gelden bij de target vragen voor opvolggedrag zijn:

- De ontwerpssnelheden 120 en 130 km/uur worden samengenomen. Uit voorgaande gesprekken met experts blijkt dat hier weinig verschil tussen zit.
- Opvolggedrag wordt alleen gekeken voor de display snelheden 100 / 90 / 70.
- Bij de display snelheid 100 wordt de combinatie met ontwerpssnelheid 100 km/uur niet bekeken. Omdat deze situatie zich ook nooit zal voordoen op de weg.
- Wanneer een display snelheid 50 weergeeft wordt er vanuit gegaan dat er sprake is van een file, waarbij er dwangmatig een snelheid gereden wordt waarbij iedereen zich aanpast.
- In richtlijnen van RWS (Crow 96a) staat dat bij het afkruisen van een rijstrook de verkeerssnelheid niet te grote snelheidsverschillen mag hebben met de huidige snelheid die gereden kan worden. Daarom wordt de snelheid 90 meegenomen omdat deze hier vaak wordt toegepast.
- Dwangmatig gedrag ontstaat wanneer een x-% van de automobilisten zijn snelheid reduceert en de overige automobilisten genoodzaakt zijn te volgen. Hierbij wordt alleen het effect van de functionaliteit homogeniseren gekwantificeerd. Omdat AID een functionaliteit is die alleen ingevoerd is om de automobilisten alerter te maken op het verkeer stroomafwaarts. De functionaliteit homogeniseren is ingevoerd om snelheden te homogeniseren. De mate van het percentage opvolgers is hierbij van belang.

7.4. Uitvoering van het expertpanel onderzoek

Iedereen in het expert panel is individueel benaderd en heeft als eerste kennismaking met het onderzoek, onderwerp en interviewtechniek een uitnodiging ontvangen (bijlage x) met een korte beschrijving van het onderzoek en de verwachtingen van hun rol. Deze uitleg is zeer specifiek gericht op de inrichting en techniek van het interview, zodat er een juiste risico-analyse uitgevoerd kan worden. Aan het expertpanel is gevraagd deze methode door te nemen en waar nodig van commentaar of vragen te voorzien alvorens het interview

plaatsvindt. Op deze manier ontstaat affiniteit tussen de experts, het onderzoek, het onderwerp en de interviewtechniek.

Vervolgens zijn interviews afgenomen bij de experts, waarbij zoals verwacht, de vragen als pittig en lastig te beantwoorden, werden aangeduid. Door de juiste benadering te vinden en de experts gericht antwoord te laten geven op de vragen zijn er bruikbare data verkregen voor verdere analyse ten behoeve van het onderzoek.

Resultaten

Het verwerken van de resultaten vindt op de volgende manier plaats:

Stap 1: Elicitation

Stap 2: Robuustheid en discrepancy

Stap 3: Daadwerkelijke significantie

Stap 4: Resultaten.

Het tweede deel van het onderzoek begint met het verwerken van de data in Excalibur. Dit is het statistische model waarbij de gewichtstoedeling van de experts plaatsvindt.

Excalibur (stap 1)

Excalibur is een statistisch programma dat gemaakt is om verschillende mogelijkheden van de risico analyse met betrekking tot de data te analyseren en begrijpen. Bij de toepassing van het Excalibur programma en techniek kan er een uniforme of logaritmische schaling gebruikt worden van de data. Binnen dit onderzoek is er gekozen voor een uniforme verdeling omdat er geen sprake is van power functies waarbij logaritmische verdelingen van toepassing zijn. Bij de toepassing en het gebruik van een uniforme verdeling worden de experts gevraagd de antwoorden te geven op basis van kwantiel antwoorden, zie paragraaf x voor de uitleg van deze percentiel-methode.

Toekenning gewichten

Het programma Excalibur heeft verschillende mogelijkheden om de besproken decision maker op verschillende manieren vorm te geven, o.a. door de expert te beoordelen met gelijke gewichten. Wanneer elke expert gelijke gewichten krijgt toegekend, wordt dit gedaan zodat een vergelijking gemaakt kan worden van een optimale DM met de resultaten die zouden voorkomen wanneer alle experts gelijk geranked worden. Naar verwachting zouden er dan grote spreidingen ontstaan in de betrouwbaarheidsintervallen.

Bij het toepassen van het klassieke model van Cook in het EXALIBUR programma wordt stapsgewijs gewerkt naar het verminderen van de ruis; waarbij de kalibratie waarde worden verbeterd(Flandoli et al., 2011).

Een tweede gewichtstoekenning gebeurt indirect door de experts zelf bij het beantwoorden van de target vragen. Als een expert minder kennis heeft over de desbetreffende vraag zal naar alle waarschijnlijkheid het interval van de kwantielen verder uit elkaar liggen. Dit resulteert in een lagere informatiescore voor die vraag. Daar tegenover staat dat wanneer experts veel kennis hebben over het onderwerp zij hoog scoren op het informatie gehalte van die vraag.

Komt het voor dat een expert na enige iteraties op geen enkele vraag binnen het 90-betrouwbaarheids interval scoort, wordt hij/zij uit de analyse gezet.

Robuustheid (stap 2)

Om de seed vragen of de antwoorden van de experts te testen op robuustheid wordt er in EXCALIBUR een nieuwe DM aangemaakt nadat er een seed vraag verwijderd is. De DM zal dan opnieuw gescored en vergeleken worden met de overige seed “vragen/items”. Door het verwijderen van een seed item wordt er gekeken of veranderingen optreden binnen de resultaten. Als na het verwijderen van een seed variabele de resultaten sterk veranderen, kan er gekozen worden om een tweetal acties te ondernemen namelijk:

1. Het opnieuw maken van een set aan seed variabelen om na te gaan of een gerichtere vraag beter binnen het onderzoek past.
2. Anderzijds kan er gekozen worden door te gaan met het onderzoek, en onderbouwing te geven waarom de seed variabelen wel is opgenomen in het onderzoek.

Een gelijk proces is uitgevoerd voor het testen van de experts op de optimale DM. Bij het om en om verwijderen van een expert uit de lijst wordt gekeken of er significante verschillen ontstaan bij de optimale DM. Bij deze robuustheidstest zal blijken dat wellicht enkele experts bijzonder goed scoren op de gehele test; anderzijds kan uit de robuustheidstest blijken dat sommige experts onder het gemiddeld scoren. Wanneer dit gebeurt is het interessant te achterhalen waarom de expert, met kennis op het gebied van de seed variabelen, lager scoort dan verwacht. Echter deze situatie zal naar waarschijnlijkheid niet voorkomen.

Het uitvoeren van een robuustheidstest is belangrijk bij het ontwikkelen van vertrouwen in de uitkomsten van het onderzoek.

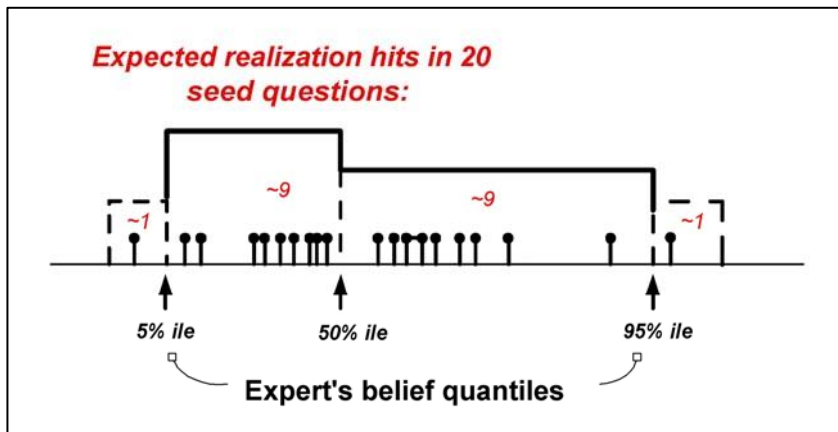
Verwerking – seed variabelen (stap 3)

Er zijn 7 seed variabelen vastgesteld waarop de experts individueel beoordeeld worden. Een voorbeeld hoe de calibratie van een expert beoordeeld wordt is te zien in Figuur 8. Hierbij zijn de antwoorden van de 20 seed vragen binnen de opgestelde kwantielen verdeeld. Op basis van de totale som aan antwoorden en de verwachte realisatie van de experts wordt het informatie gehalte van de expert bepaald.

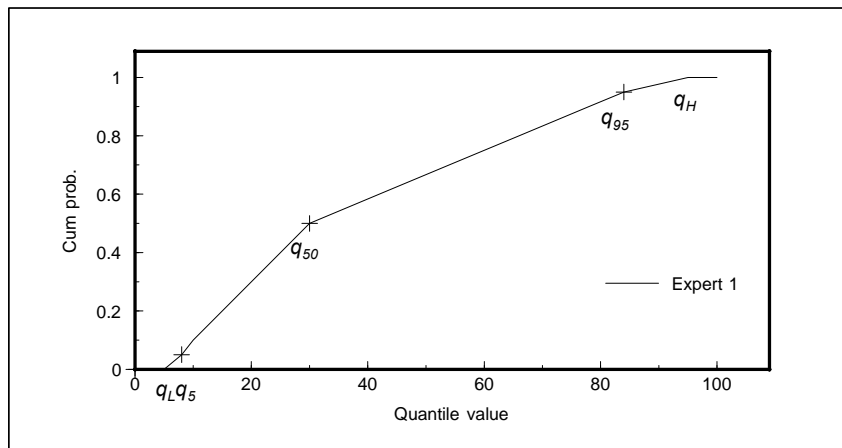
Vervolgens kan er op basis van een interpolatie worden een virtuele expert, ook wel Decision maker gemaakt. Het 5^e percentiel en het 95^e percentiel in het figuur geven het intrinsieke interval weer van de extreemste waarde van alle experts.

Waarbij op basis van de overlap met de bekende waarde, die op het moment van interviewen voor de expert nog onbekend was. De mate van overlap en juistheid van het antwoord resulteert in de toekenning van een gewicht voor de expert, waarbij de proper scoring rule wordt gehanteerd.

Figuur 8. Beoordeling van een expert op zijn seed variabelen



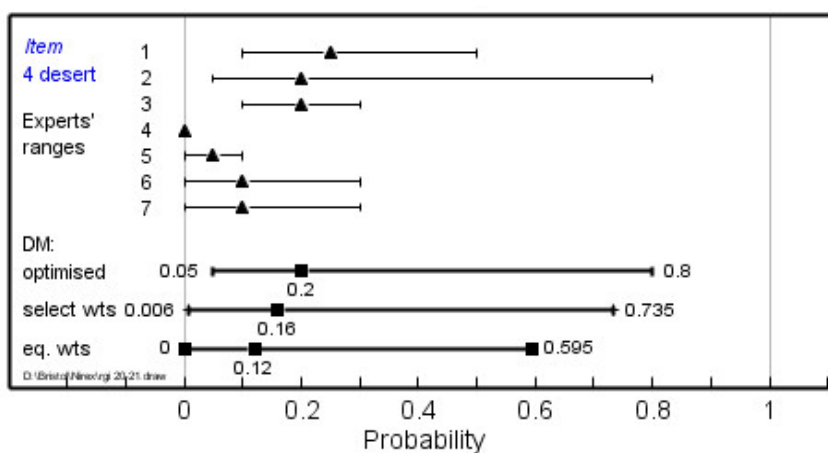
Figuur 9. Interpolatie van de kwantiel verdeling van antwoorden van een expert



Verwerking resultaten (stap 4)

Wanneer in EXALIBUR alle data is ingevoerd en de analyses zijn uitgevoerd ziet een overzicht van de resultaten er als volgt uit:

Figuur 10. Voorbeeld van een range grafiek



Deze figuur geeft een set van balkjes weer met een 90-e betrouwbaarheidsinterval. In elke balk staat een driehoekje of vierkantje, deze duiden op de mediaan en inzicht bieden in de

ranges van het informatiegehalte van de experts. In dit voorbeeld zijn 7 experts geïnterviewd. Dit is in het figuur 10 te zien als de nummers 1 t/m 7. Omdat expert elicitation gevoelige informatie kan opwekken als het gaat om betrouwbaarheid en kennis over onderwerpen is het van belang dat de experts niet bij naam genoemd worden in het onderzoek. Zoals te zien is in het figuur 10, hebben de experts verschillende betrouwbaarheidsintervallen gekozen en hebben ze een verschillende kansverdeling gemaakt.

De laatste drie balken onderin het figuur geven drie verschillende beoordelingsmaten weer:

1. “dm Optimized” : de geoptimaliseerde DM (voorkeur)
2. “ Power-gerelateerde en geëxtrapoleerde uitkomst.
3. De onderste balk ‘eq. Wts’ staat voor de DM gebaseerd op een gelijke gewichtsverdeling.

Binnen dit onderzoek wordt er alleen gekeken naar de DM-optimised balk. De overige twee balken worden gebruikt wanneer er gekeken wordt naar aannames en interpolatie strategie.

7.5. Introductie interview

In deze paragraaf is de introductie mail geplaatst. Deze introductie mail is naar elke expert gegaan alvorens het interview is afgenomen. De tweede paragraaf beschrijft de interview vragen. Elke expert heeft de zelfde set aan vragen beantwoord. Een vraag is volledig beantwoord zodra zowel een 5^e, 50^e en 95^e percentielwaarde is gegeven. Tenslotte zijn in de interviews openvragen gesteld m.b.t. het algoritme Dynamax. De resultaten van deze openvragen zijn niet in de bijlage vermeld omdat de antwoorden niet gelinkt kunnen worden aan de namen van de experts (vertrouwelijk).

Introductie mail

Beste Respondent,

Binnen het kader van mijn afstuderen aan de master Transport Infrastructure and Logistics aan de faculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft zou ik vragen of u wilt deelnemen aan dit verkeerskundige onderzoek. Het afstudeeronderzoek heeft betrekking tot het in kaart brengen van de huidige effecten van matrixsignaalgevers op de verkeersstroom, de opdracht is voortgekomen uit samenwerking met de TU Delft en PwC.

Het onderzoek betreft het in kaart brengen van de effecten van matrixsignaalgevers op de Rijkswegen in Nederland. Hierbij worden de effecten, beschreven in baten, altijd vergeleken met het nul-alternatief: Rijkswegen zonder matrixsignaalgeverssystemen.

Afgelopen halve jaar heb ik gewerkt aan het analyseren van Rijkswegen in Nederland en de matrixsignaalgeverssystemen. In het begin stadium van mijn afstuderen heb ik geprobeerd aan de hand van een vergelijking tussen rijkswegen in Nederland effecten met en zonder matrixsignaalgevers in kaart te brengen. Echter, is dit helaas een onbegonnen werk

gebleken. Daarom is er gekozen voor het kwantificeren van de effecten met behulp van een gestructureerde expertbevraging: Expert Elicitation.

Expert Elicitation is een wetenschappelijk onderbouwde kwantificatie methode die wordt toegepast wanneer er onduidelijkheid bestaat over de nauwkeurigheid en zekerheid van de acceptatie van de waarde van de effecten die uit onderzoek/resultaten komen omdat overeenstemming tussen de reeds bekende effecten/informatie uit onderzoeken achterwege blijven.

Omdat Expert Elicitation gebruikt wordt bij het in kaart brengen van technische onzekerheden staat het eliciteren van subjectieve onzekere kennis centraal. Daarom wordt er aan u, als respondent, gevraagd of u zich kan verplaatsen in een opinie waarbij er neutraal gekeken wordt naar de uiteindelijke uitkomsten van het onderzoek en waarbij eigen belangen geen rol spelen. Hierbij is het van belang dat u elke vraag zo goed mogelijk probeert te beantwoorden tijdens het interview. Ervaring en reviews bij het uitvoeren van Expert Elicitation wijst er het beantwoorden van de vragen niet gemakkelijk is; dit is juist de bedoeling en daarom is juist elk antwoord op elke vraag van u als respondent zo essentieel. Aan het einde van de enquête laat ik ruimte voor eventuele opmerkingen en toevoegingen mocht u nadere uitleg willen geven bij uw antwoord.

Opbouw interview

Binnen het interview wordt er een onderscheid gemaakt tussen de seed- en target variabelen. Eerst worden vragen gesteld voor het kwantificeren van de seedvariabelen, waarna de targetvragen volgen. Beide vragen hebben een gelijke structuur en behandelen achtereenvolgens de volgende drie categorieën:

1. Capaciteitsveranderingen
2. Verkeersongevallen
3. Opvolgedrag van de adviessnelheden

Expert Elicitation onderscheidt zich van andere onderzoeksmethode die gebruikt worden bij het kwantificeren van effecten, doordat het toekennen van gewichten aan experts resulteert uit een statistisch onderzoek. Experts worden behandeld als statistische hypothesen waarbij ze beoordeeld worden op basis van statistische kans (kalibratie) en hun informatiegehalte. Deze beoordeling vloeit voort uit antwoorden/kennis van de experts op de vooraf gestelde “seed variabelen” (ongeveer 7 vragen).

Vervolgens wordt het tweede gedeelte van het interview gestart waarbij de target vragen gesteld worden. Dit zijn een ongeveer 40 vragen, waarbij u wederom als respondent gevraagd wordt elke vraag zo nauwkeurig mogelijk te beantwoorden.

Hoe gaat de beantwoording van seed en target vragen?

Bij het beantwoorden van de seed en target vragen dient per vraag een gemiddelde waarde (50^e percentiel) 5^e en het 95^{te} percentiel te worden gegeven.

Hoe worden uw antwoorden verwerkt?

Seed vragen: De antwoorden op de seed vragen worden vergeleken met reeds bekende waarden. Op basis van de nauwkeurigheid van uw antwoord krijgt u een bepaalde score toegekend. Deze scores worden gecombineerd tot gewichten.

Opmerking: Dit kan alleen worden bereikt als experts hun **eigen neutrale** kijk en antwoord geven op **alle** gestelde vragen en u **geen gebruikt maakt van andere hulpmiddelen** om antwoorden te verifiëren.

De target vragen: De target vragen resulteren uiteindelijk als inputwaarde voor het verkeersmodel. Binnen het interview hebben de target vragen als doel de onbekende waarde te kwantificeren. Waarbij de antwoorden op de vragen in verhouding met de gewichten per expert worden meegenomen.

Bij elke targetvraag wordt onderscheid gemaakt naar verschillende matrixsignaalgeversfuncties of op ontwerpsnelheden. Opeenvolgend zijn dit:

Functionaliteiten	Ontwerpsnelheden
Homogeniseren	130 km/uur
Automatische Incident Detectie	120 km/uur
Pijl-Kruis	100 km/uur

De scenario's waarover effect veranderingen t.o.v. géén matrixsignaalgeverssystemen worden gemeten bestaan uit verschillende tussenafstanden van portalen. Uiteindelijk zullen binnen de enquête diverse vragen gesteld worden die gecombineerd kunnen worden binnen de scenario's gebaseerd op de tussenafstanden:

1. 500 m versus géén verkeerssignalering
2. 1000 m versus géén verkeerssignalering
3. 1500 m versus géén verkeerssignalering

Aan het einde van iedere onderwerp zal er ruimte zijn om de functionaliteit Dynamax te bespreken (open vraag) en tot slot is aan het einde van het interview ruimte voor op/aanmerkingen.

7.6. Interview

Hieronder is het interview uiteenzet die voor de 10 experts is uitgevoerd.

Seed vragen

1. Wat is de capaciteit van een driestrooksweg met vluchtstrook, verkeerssignalering, 8% vrachtwagenverkeer uitgedrukt in PAE/uur? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

2. Wat is de capaciteit van een tweestrooksweg met vluchtstrook, verkeerssignalering, 8% vrachtwagenverkeer uitgedrukt in PAE/uur?

5%_____ 50%_____ 95%_____

3. Wat is het aantal geregistreerde verkeersongevallen geweest op de A7 in 2012? (de lengte van de weg is 242 km lang, de data komt uit SWOV met materiële schade)

5%_____ 50%_____ 95%_____

4. Wat is het aantal geregistreerde secundaire verkeersongevallen geweest op de A7 in 2012?

5%_____ 50%_____ 95%_____

5. Wat is de gemiddelde trajectsnelheid die is gemeten op de A1 in 2009 op het traject Bussum-Muiderberg tussen 10 uur en 15 uur, waarbij een snelheid van 120 km/uur is toegestaan?

5%_____ 50%_____ 95%_____

6. In de ochtendspits op de A20 wordt op het traject Vlaardingen-West naar Klein Polderplein gemiddeld 95.6 km/uur gereden. Er gaat een snelheidsdeken aan van 90 km/uur. Wat wordt dan de gemiddelde snelheid?

5%_____ 50%_____ 95%_____

7. In de ochtendspits op de A20 wordt op het traject Vlaardingen-West naar Klein Polderplein, gemiddeld genomen 95.6 km/uur gereden. Er gaat een snelheidsdeken aan van 70 km/uur. Wat wordt dan de gemiddelde snelheid?

5%_____ 50%_____ 95%_____

Target vragen

8. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit homogeniseren op de Rijkswegen ten opzichte van géén matrixborden. (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

9. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit homogeniseren op de Rijkswegen ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

10. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit homogeniseren op de Rijkswegen ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

11. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit AID op de Rijkswegen tov geen matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

12. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit AID op de Rijkswegen ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

13. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door matrixborden op de Rijkswegen ten opzichte van het gebruik in de Randstad tov buitengebieden?

5% _____ 50% _____ 95% _____

14. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteiten homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

15. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteiten homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

16. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteiten homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

17. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

18. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

19. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het totaal aantal ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

20. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

21. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

22. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Homogeniseren ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

23. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

24. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

25. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit AID ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

26. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Kruis-Pijl ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

27. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Kruis-Pijl ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

28. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in het ratio secundaire ongevallen op de Rijkswegen met betrekking tot de functionaliteit Kruis-Pijl ten opzichte van géén matrixborden? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

29. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 100 (range waar tussen het opvolg gedrag van snelheid ligt is [97; 105 km/uur] op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

30. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 100 (range waar tussen het opvolg gedrag van snelheid ligt is [97; 105 km/uur] op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

31. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 100 (range waar tussen het opvolg gedrag van snelheid ligt is [97; 105 km/uur] op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

32. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

33. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

34. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

35. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

36. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

37. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 90, met een range van [87 - 95 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

38. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

39. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

40. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 130 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

41. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

42. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1000 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

43. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de display snelheid 70, met een range [68 - 74 km/uur], op een weg waarbij de ontwerpsnelheid 100 km/uur is? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5%_____ 50%_____ 95%_____

44. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de verkeersstroom dat hedendaags nodig is om dwangmatig de gehele verkeersstroom op snelheid te doen inperken?

5%_____ 50%_____ 95%_____

45. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage opvolgers t.o.v. de verkeersstroom dat nodig is, wanneer homogeniseren optimaal wordt gebruikt, om dwangmatig de gehele verkeersstroom op snelheid te doen inperken?

5%_____ 50%_____ 95%_____

46. Wat is uw schatting over het werkelijke, maar onbekende, percentage toename in de capaciteit t.o.v de huidige werking van homogeniseren als homogeniseren volledig wordt benut zoals bedoelt?

5% _____ 50% _____ 95% _____

47. Wat is uw schatting over de werkelijke, maar onbekende, verandering in de capaciteit veroorzaakt door de functionaliteit AID? (*waarbij de uitvoeringsmaatregel om de 1500 m is.)

5% _____ 50% _____ 95% _____

7.7. Resultaten van Expert Elicitation

Expert elicitation leidt tot een set aan verschillende resultaten, die inzicht geven in de spreiding (onzekerheid) van de effecten van matrixborden. Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de experts op de seed variabelen. Deze vragen geven inzicht in het informatiegehalte en inschattingsvermogen (kalibratie) van de experts.

Expert panel - resultaten seed variabelen

Hieronder zijn voor de experts de verschillende resultaten gevisualiseerd. Dit is de basis waarbij het inzicht van 7 experts is getest en op basis van deze resultaten de expert een gewicht krijgt toegekend voor verder onderzoek bij elimineren van onzekerheden. Het weerspiegelt het vermogen van een expert een inschatting te maken op basis van onzekerheden, dit vermogen is getest op 7 relevante seed variabelen. Waarbij op het moment dat de enquête werd afgenomen, geen bewuste kennis was welke parameters werden gevraagd en het antwoord op de vragen onbekend was. De diversiteit van de antwoorden tussen de experts duidt op onzekerheden en meningsverschillen over de antwoorden van de andere experts gegeven de seed variabelen.


```

Range graph of input data
Expert no. : 1    Expert name: 1
Items
1(U)                                     [---*---]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

2(U)                                     [-*-]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

3(U) |
Real : ::#:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

4(U) []
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

5(U) [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

6(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

7(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

Expert no. : 2    Expert name: 2
Items
1(U)                                     [----*-----]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

2(U)                                     [---*-----]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

3(U) [*]
Real : ::#:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

4(U)      [----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

5(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

6(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

7(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

Expert no. : 3    Expert name: 3
Items
1(U) [----*-----]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

2(U) [---*-----]
Real : ::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::#:::

3(U) |
Real : ::#:::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::

4(U) [-*-]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

5(U)      [----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

6(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

7(U)      [-----*-----]
Real : ::::::::::::::::::#:::::::::::::::::::::::::::::::::

```

Expert no. : 4 Expert name: 4

```

Items
1(U)                                     [----*--]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #::::

2(U)                                     [----*--]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #::::

3(U)  [*]
Real  :: #: :::::::::::::::::::::::::::::::

4(U)      [--*-----]
Real  ::::::::::::::::::: #: :::::::::::::::

5(U)                [---*-----]
Real  ::::::::::::::::::: #: :::::::::::::::

6(U) [-----*-----]
Real  ::::::::::::::::::: #: :::::::::::::::

7(U)      [-----*---]
Real  ::::::::::::::::::: #: :::::::::::::::

```

Expert no. : 5 Expert name: 5

```

Items
1(U)                                     [---*---]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:
2(U)                                     [---*---]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:
3(U) [*]
Real  :: #: :::::::::::::::::::::::::::::::::::
4(U)          [-----*-----]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:
5(U)          [-----*-----]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:
6(U) [------*-----]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:
7(U)          [-----*-----]
Real  ::::::::::::::::::::::::::::::::::: #:

```

Expert no. : 6 Expert name: 6

```
Items
 1(U) [-----*----]
Real ::::::::::::::::::::#::::

 2(U) [-----*----]
Real ::::::::::::::::::::#::::

 3(U) |
Real :::#:~::~::::::::::::::::::

 4(U) |
Real ::::::::::::::::::::#::~::::::::::::::::::

 5(U) [-----*-----]
Real ::::::::::::::::::::#::~::::::::::::::::::

 6(U) [-*-]
Real ::::::::::::::::::::#::~::::::::::::::::::

 7(U) [-----*---]
Real ::::::::::::::::::::#::~::::::::::::::::::
```

Expert no. : 7 Expert name: 8

Items

1(U) [-----*-----]

Real :#:

2(U) [-----*-----]

Real :#:

3(U) |

Real :#:

4(U) |

Real :#:

5(U) [---*---]

Real :#:

6(U) [-----*-----]

Real :#:

7(U) [-----*-----]

Real :#:

Expert no. : 8 Expert name: 9

Items

1(U) [-*-]

Real :#:

2(U) [---*---]

Real :#:

3(U) [-----*-----]

Real :#:

4(U) [-----*-----]

Real :#:

5(U) [-----*-----]

Real :#:

6(U) [-----*-----]

Real :#:

7(U) [-----*-----]

Real :#:

Expert no. : DM Expert name: DM1

Items

1(U) [=====*=====]

Real :#:

2(U) [=====*=====]

Real :#:

3(U) [*]

Real :#:

4(U) [=====*=====]

Real :#:

5(U) [=====*=====]

Real :#:

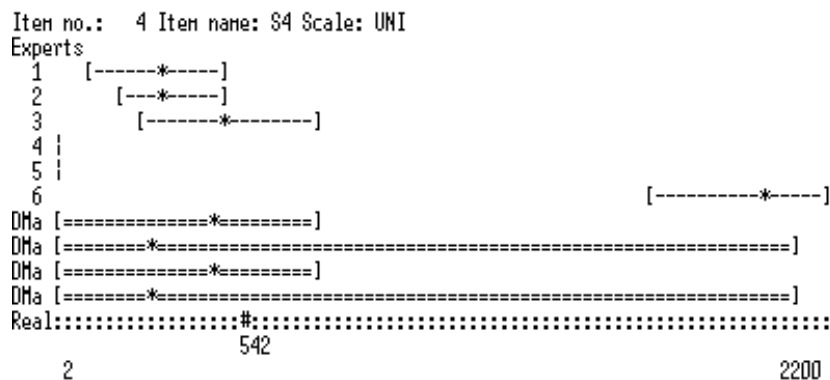
6(U) [=====*=====]

Real :#:

7(U) [=====*=====]

Real :#:

Hieronder volgen de resultaten van de target variabelen. Waarbij grafisch in kaart is gebracht hoe experts de effecten met betrekking tot matrixsignaalgevers inschatten en hoe effecten veranderen over een gedifferentieerd beleid.



Item no.: 5 Item name: S5 Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*-----]
 2 [---*---]
 3 [---*---]
 4 [-----*-----]
 5 [---*---]
 6 [-----*-----]
 DMaker 4 [=====*=====]
 DMaker 3 [=====*=====]
 DMaker 2 [=====*=====]
 DMaker 1 [=====*=====]
 Real:#####
 95 105 140

Item no.: 6 Item name: S6 Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*-----]
 2 [-----*-----]
 3 [-----*-----]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 [-----*-----]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 Real:#####
 85 88,7 100

Item no.: 7 Item name: S7 Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*-----]
 2 [-----*-----]
 3 [-----*-----]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 [-----*-----]
 DMaker 4 [=====*=====]
 DMaker 3 [=====*=====]
 DMaker 2 [=====*=====]
 DMaker 1 [=====*=====]
 Real:#####
 68 86,7 100

Item no.: 8 Item name: Q1.1 C-H Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*-----]
 2 [-----*-----]
 3 [-----*-----]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 [-----*-----]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 1 1,27

Item no.: 10 Item name: Q1.3 C-H Scale: UNI

Experts

```

1           [-----*-----]
2           [-----*-----]
3           [ ]
4  [---*-----]
5           [---*---]
6                               [-----*-----]
DMak [=====*=]
DMak [=====*=]
DMak [=====*=]
DMak [=====*=]
=====
0,96                                     1,12

```

Item no.: 11 Item name: Q2.1 C-AID Scale: UNI

Experts

```

1                               [-----*-----]
2 *)
3  [-----*-----]
4           [-----*-----]
5           [---*---]
6           [-----*-----]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
=====
1                                     1,09

```

Item no.: 12 Item name: Q2.2 C-AID Scale: UNI

Experts

```

1                               [-----*-----]
2 *)
3  [-----*-----]
4  [-----*-----]
5           [---*---]
6                               [-----*-----]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
DMa [=====*=]
=====
1                                     1,08

```

Item no.: 13 Item name: Q3 - Buitengeb Scale: UNI

Experts

```

1  [---*---]
2 *)
3                               [---*-----]
4  [-----*-----]
5 *)
6  [---*---]
DMaker 4 [=====*=]
DMa [=====*=]
DMaker 2 [=====*=]
DMa [=====*=]
=====
1                                     1,08

```

Item no.: 15 Item name: Q4.2-TOTH Scale: UNI
 Experts
 1 [---*---]
 2 [---*---]
 3 [-----*-----]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 [-----*-----]
 DMaker 4 [=====*=====]
 DMaker [=====*=====]
 DMaker 2 [=====*=====]
 DMaker [=====*=====]
 0,82 1,03

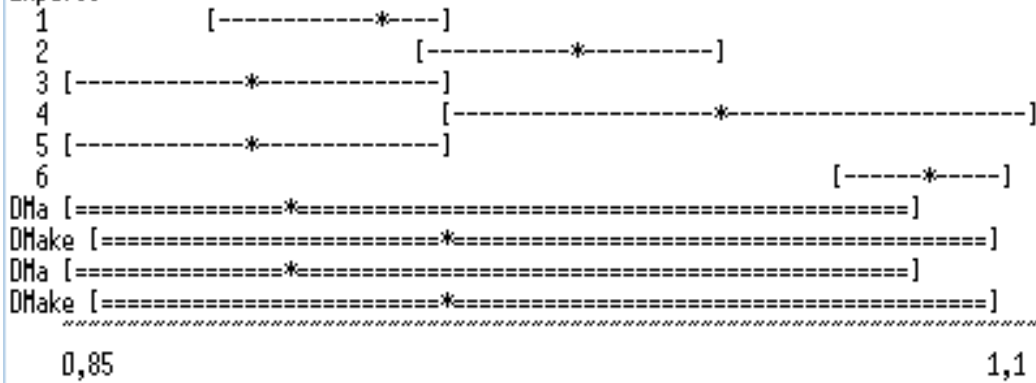
Item no.: 16 Item name: Q4.3- TOTH Scale: UNI
 Experts
 1 [*---]
 2 [---*---]
 3 [-----*-----]
 4 [---*]
 5 [-----*-----]
 6 [-----*-----]
 DMaker 4 [=====*=====]
 DMaker [=====*=====]
 DMaker 2 [=====*=====]
 DMaker [=====*=====]
 0,88 1,03

Item no.: 17 Item name: Q5.1-TOTRID Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*---]
 2 [-----*-----]
 3 [---*---]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 |
 DMaker 4 [=====*=====]
 DMaker 3 [=====*=====]
 DMaker 2 [=====*=====]
 DMaker 1 [=====*=====]
 0,65 1,02

Item no.: 18 Item name: Q5.2-TOTRID Scale: UNI
 Experts
 1 [-----*-----]
 2 [-----*-----]
 3 [-----*-----]
 4 [-----*-----]
 5 [-----*-----]
 6 [---*---]
 DMa [=====*=====]
 DMak [=====*=====]
 DMa [=====*=====]
 DMak [=====*=====]
 0,8 1,03

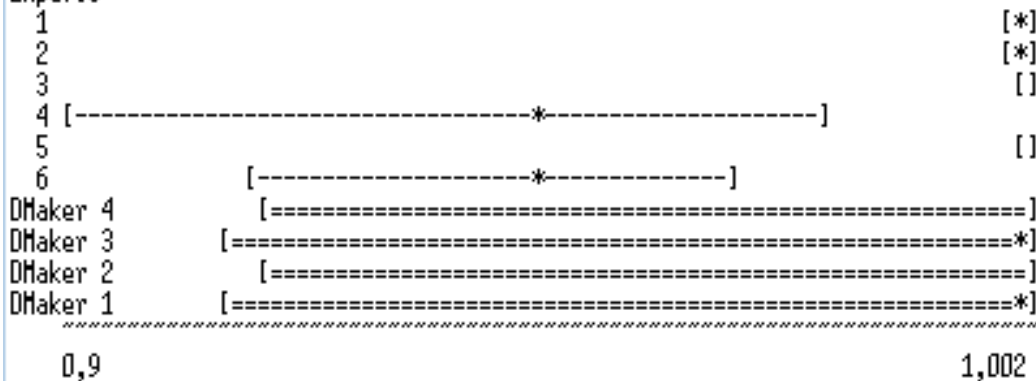
Item no.: 19 Item name: Q5.3-TOTAID Scale: UNI

Experts



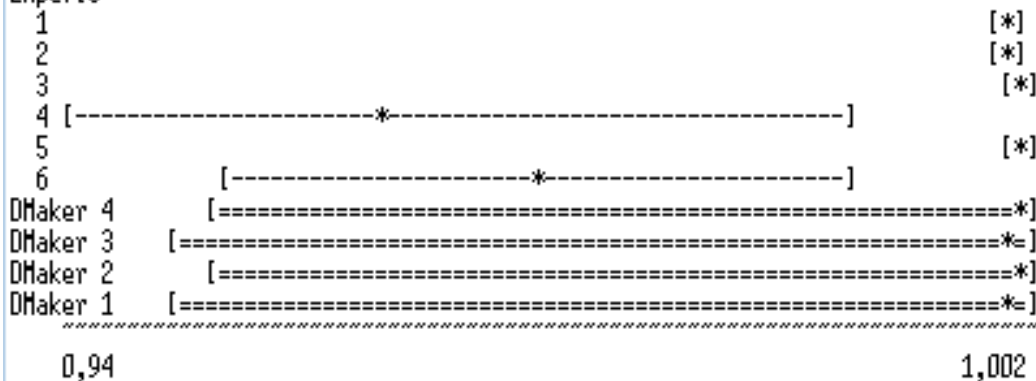
Item no.: 20 Item name: Q6.1-SECH Scale: UNI

Experts



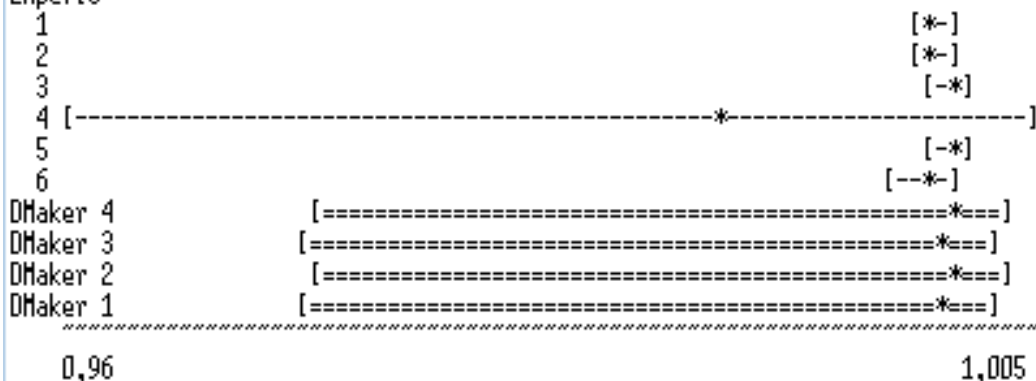
Item no.: 21 Item name: Q6.2-SECH Scale: UNI

Experts



Item no.: 22 Item name: Q6.3-SECH Scale: UNI

Experts



Item no.: 27 Item name: Q8.2-SECKP Scale: UNI

Experts

1	[-----*-----]	
2		[--*--]
3	[-----*-----]	
4		[-----*-----]
5	[-----*-----]	
6		[---*--]
DMa	[=====*=====]	
DMake	[=====*=====]	
DMa	[=====*=====]	
DMake	[=====*=====]	

0,3 0,97

Item no.: 28 Item name: Q8.3-SECKP Scale: UNI

Experts

1	[-----*-----]	
2		[--*--]
3	[-----*-----]	
4		[-----*-----]
5	[-----*-----]	
6		[-----*--]
DMa	[=====*=====]	
DMaker 3	[=====*=====]	
DMa	[=====*=====]	
DMaker 1	[=====*=====]	

0,3 0,99

Item no.: 29 Item name: Q9.1-D100V130 Scale: UNI

Experts

1		[-----*-----]
2		[-----*-----]
3		[-----*-----]
4	[-----*-----]	
5	[-----*-----]	
6	[-----*-----]	
DMaker 4	[=====*=====]	
DMaker 3	[=====*=====]	
DMaker 2	[=====*=====]	
DMaker 1	[=====*=====]	

0,3 0,95

Item no.: 30 Item name: Q9.2-D100V130 Scale: UNI

Experts

1		[-----*-----]
2		[-----*-----]
3		[-----*-----]
4	[-----*-----]	
5	[-----*-----]	
6	[-----*-----]	
DMaker 4	[=====*=====]	
DMaker 3	[=====*=====]	
DMaker 2	[=====*=====]	
DMaker 1	[=====*=====]	

0,19 0,94

Item no.: 31 Item name: Q9.3-D100V130 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [-----*---]
2                                     [-----*---]
3                                     [-----*---]
4 [-----*-----]
5                                     [-----*---]
6                                     [-----*---]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,19                                     0,93

```

Item no.: 32 Item name: Q10.1-D90V130 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [-----*---]
2                                     [-----*---]
3                                     [-----*---]
4 [-----*-----]
5                                     [-----*---]
6                                     [-----*---]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,05                                     0,9

```

Item no.: 33 Item name: Q10.2-D90V130 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [-----*---]
2                                     [-----*---]
3                                     [-----*---]
4 [-----*-----]
5                                     [-----*---]
6                                     [-----*---]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,05                                     0,89

```

Item no.: 34 Item name: Q10.3-D90V130 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [-----*---]
2                                     [-----*---]
3                                     [-----*---]
4 [-----*-----]
5                                     [-----*---]
6                                     [-----*---]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,05                                     0,9

```

Item no.: 35 Item name: Q11.1-D90V100 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2                                [-----*-----]
3                                [-----*-----]
4 [-----*-----]
5                                [-----*-----]
6                                [---*---]

```

```

DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]

```

0,2

0,95

Item no.: 36 Item name: Q11.2-D90V100 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2                                [-----*-----]
3                                [-----*-----]
4 [-----*-----]
5                                [-----*-----]
6                                [---*---]

```

```

DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]

```

0,15

0,94

Item no.: 37 Item name: Q11.3-D90V100 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2                                [-----*-----]
3                                [-----*-----]
4 [-----*-----]
5                                [-----*-----]
6                                [---*---]

```

```

DMaker [=====*=====]
DMaker [=====*=====]
DMaker [=====*=====]
DMaker [=====*=====]

```

0,1

0,93

Item no.: 38 Item name: Q12.1-D70V130 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2                                [---*---]
3                                [-----*-----]
4 [---*-----]
5                                [-----*-----]
6                                [---*-----]

```

```

DMak [=====*=====]
DMak [=====*=====]
DMak [=====*=====]
DMak [=====*=====]

```

1E-005

0,85

Item no.: 39 Item name: Q12.2-D7DV130 Scale: UNI

Experts

```
1 [---*---]
2 [---*---]
3 [-----*-----]
4 [---*-----]
5 [-----*-----]
6 [---*---]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
=====
1E-005 0,84
```

Item no.: 40 Item name: Q12.2-D7DV13 Scale: UNI

Experts

```
1 [---*---]
2 [---*---]
3 [-----*-----]
4 [---*---]
5 [-----*-----]
6 [---*---]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
=====
1E-005 0,83
```

Item no.: 41 Item name: Q13.1-D7DV100 Scale: UNI

Experts

```
1 [---*---]
2 [---*---]
3 [-----*-----]
4 [---*-----]
5 [-----*-----]
6 [---*---]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
=====
0,01 0,9
```

Item no.: 42 Item name: Q13.2-D7DV100 Scale: UNI

Experts

```
1 [---*---]
2 [---*---]
3 [-----*-----]
4 [---*-----]
5 [-----*-----]
6 [---*---]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
DHak [=====*=====]
=====
1E-005 0,89
```

Item no.: 43 Item name: Q13.3-D70V100 Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2             [---*---]
3             [-----*-----]
4 [*-----]
5             [-----*-----]
6                                     [---*]
DMa [=====*=====]
DMa [=====*=====]
DMa [=====*=====]
DMa [=====*=====]
=====
0,01                                     0,88

```

Item no.: 44 Item name: Q14.1-DuangHom Scale: UNI

Experts

```

1                                     [---*---]
2             [-----*-----]
3             [-----*-----]
4 [-----*-----]
5             [---*---]
6                                     [-----*-----]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,05                                     0,95

```

Item no.: 45 Item name: Q14.2-DuangHom Scale: UNI

Experts

```

1                                     [-----]
2             [-----*-----]
3             [-----*-----]
4 [-----*-----]
5             [---*---]
6                                     [---*---]
DMaker 4 [=====*=====]
DMaker 3 [=====*=====]
DMaker 2 [=====*=====]
DMaker 1 [=====*=====]
=====
0,05                                     0,999

```

Item no.: 46 Item name: Q14.3-DuangHom Scale: UNI

Experts

```

1 [---*---]
2 [-*]
3 [---*]
4 [-----*-----]
5 |
6 [-----*---]
DMak [==*=====]
DMa [==*=====]
DMak [==*=====]
DMa [==*=====]
=====
1                                     1,8

```

Item no.: 47 Item name: Q2.3-C-AID Scale: UNI

Experts

1		[-----*-----]
2	*)	
3		[---*-----]
4	[-----*-----]	
5	*)	
6		[-----*-----]

DMaker 4	[=====*=====]
DMaker 3	[=====*=====]
DMaker 2	[=====*=====]
DMaker 1	[=====*=====]

=====

0,95	1,11
------	------

7.9 Expert Panel – Resultaten expert elicitation

Resulting solution (combined DM distribution of values assessed by experts)

Bayesian Updates: no Weights: global DM Optimisation: no

Significance Level: 0.0200 Calibration Power: 1.0000

Nr.	Id	Scale	5%	50%	95%	Realization
1	S1	UNI	6188	6700	7058	6804
2	S2	UNI	4120	4405	4755	4536
3	S3	UNI	12,75	906,1	1500	1386
4	S4	UNI	3,561	452,2	748,4	542
5	S5	UNI	101,3	109,9	115	105
6	S6	UNI	85,09	90,97	95,48	88,7
7	S7	UNI	75,12	85,95	93,28	86,7
8	Q1.1 C-H	UNI	1	1,001	1,02	
9	Q1.2 C-H	UNI	0,9885	1,001	1,01	
10	Q1.3 C-H	UNI	0,9628	1,001	1,009	
11	Q2.1 C-AID	UNI	1	1,035	1,073	
12	Q2.2 C-AID	UNI	1	1,024	1,05	
13	Q3 - Buitengeb	UNI	1,01	1,035	1,065	
14	Q4.1-TOTH	UNI	0,8767	0,9708	1	
15	Q4.2-TOTH	UNI	0,95	0,9748	1,023	
16	Q4.3- TOTH	UNI	0,9501	0,9757	1,002	
17	Q5.1-TOTAID	UNI	0,6983	0,8239	0,8889	
18	Q5.2-TOTAID	UNI	0,8	0,8543	0,9721	
19	Q5.3-TOTAID	UNI	0,8508	0,9097	1,068	
20	Q6.1-SECH	UNI	0,9212	1,001	1,002	
21	Q6.2-SECH	UNI	0,9491	1,001	1,002	
22	Q6.3-SECH	UNI	0,9714	1,001	1,003	
23	Q7.1-SECAID	UNI	0,4655	0,6455	0,8	
24	Q7.2-SECAID	UNI	0,6	0,7	0,8654	
25	Q7.3-SECAID	UNI	0,7016	0,8136	0,9344	
26	Q8.1-SECKP	UNI	0,3031	0,5392	0,9412	
27	Q8.2-SECKP	UNI	0,3037	0,5395	0,9404	
28	Q8.3-SECKP	UNI	0,3037	0,5396	0,9639	
29	Q9.1-D100V130	UNI	0,3813	0,7824	0,8498	
30	Q9.2-D100V130	UNI	0,2963	0,7805	0,8494	
31	Q9.3-D100V130	UNI	0,2796	0,7802	0,8493	
32	Q10.1-D90V130	UNI	0,1094	0,4807	0,6976	
33	Q10.2-D90V130	UNI	0,08054	0,4805	0,6973	
34	Q10.3-D90V130	UNI	0,08823	0,4805	0,6973	
35	Q11.1-D90V100	UNI	0,2799	0,7609	0,8494	
36	Q11.2-D90V100	UNI	0,2324	0,7606	0,8493	
37	Q11.3-D90V100	UNI	0,1544	0,7598	0,8983	
38	Q12.1-D70V130	UNI	0,01884	0,2809	0,3993	
39	Q12.2-D70V130	UNI	0,01541	0,2808	0,3993	
40	Q12.2-D70V13	UNI	0,01183	0,2808	0,3992	
41	Q13.1-D70V100	UNI	0,02824	0,2809	0,3994	
42	Q13.2-D70V100	UNI	0,01861	0,2809	0,3994	
43	Q13.3-D70V100	UNI	0,0178	0,2809	0,3993	
44	Q14.1-DwangHom	UNI	0,1989	0,5033	0,8379	
45	Q14.2-DwangHom	UNI	0,1357	0,3099	0,8234	
46	Q14.3-DwangHom	UNI	1,02	1,052	1,604	

BIJLAGE 8 OPZET BESLISMODEL

Overzicht van onderzoeksmethoden voor beslismodel

In hoofdstuk 1 zijn de onderzoeksmethoden in hoofdlijnen weergegeven. Om de gevolgen van de verschillende effecten van matrixsignaalgevers te kwantificeren zijn zoals aangegeven drie onderzoeksgebieden uitgewerkt. Op deze manier wordt inzichtelijk hoe de verhouding baten en kosten zich relateert aan de (economische)netwerkprestaties voor verschillende Rijkswegen.

Het beslissingsondersteunend model dat inzicht geven in de verschillende kosten en baten is onderliggend aan de MKBA. In dit model kan gemakkelijk met andere effectveronderstellingen worden gespeeld. De opbouw, randvoorwaarden en tekortkomingen van het model worden in deze bijlage uiteengezet.

8.1. Input model – tracédeel





Figuur 11. Overzicht input – ondersteunend beslismodel

Tracédeel																																													
Scenario	nr 21																																												
Functionaliteit:	0 AID																																												
Uitvoeringsmaatregel	AID + 1500																																												
Capaciteit:	<div> <div>Kleinste C</div> <div>2de kleinste C</div> <div>Grootste C</div> </div> <div> 5153,00 5586,00 7953,00 </div>																																												
Lengte wegdeel Aantal wegvakken	<div> <div>Van</div> <div>Tot</div> <div>check tracé < 10</div> </div> <div> <div>Km</div> <div></div> <div></div> </div> <div> 10,00 15,00 10 </div>																																												
Is het een B, C of een D weg?	D																																												
Dag of weekend	Dag																																												
Starttijd:	6:00:00																																												
Eindtijd:	12:00:00																																												
Oorspronkelijke wegconfiguratie:	4 rijstroken met vluchtstrook																																												
Vontwerp:	120																																												
Opbouw wegvak																																													
Wegvaktype	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	B	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	C	2	1	1	1	2	4	1	1	1	1	D	4	1	4	3	1	4	3	4	3	1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																			
B	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1																																			
C	2	1	1	1	2	4	1	1	1	1																																			
D	4	1	4	3	1	4	3	4	3	1																																			
Matrixsignaalgever algoritme																																													
Matrixbord aan bij	Aan 0,8																																												
Afsluiting	<div> <div>Van</div> <div>Tot</div> <div>CRF</div> <div>CRF</div> <div>zet anders op 1</div> </div> <div> <div>wegvak nr</div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> 0 0 43% 1 </div>																																												
Afsluiting	<div> <div>Starttijd</div> <div>Tijdsduur</div> <div>wegvak nr</div> </div> <div> <div>Uur</div> <div>Min</div> <div></div> </div> <div> 6:00:00 360 0 </div> <div> <div></div> <div>77</div> </div>																																												
Fundamenteel verkeersdiagram																																													
X-asymptoot	<div> <div>stnd waarde</div> <div>Nieuwe waarde</div> </div> <div> 1,1 1,1 </div>																																												

8.2. Overzicht van de inputwaarden van Tracédeel

Om overzichtelijk te zien welke inputwaarden in het model worden gestopt is er een overzichtspagina gemaakt waarbij de verschillende variabelen te zien zijn. Hierbij staan in de eerste kolom alle variabelen die beïnvloed worden door enerzijds de samenstelling van het wegtracé anderzijds de inputwaarde uit de enquête. De kleuren geven de verschillende variabelen weer die een inputwaarden krijgen.

Tabel 3 legenda input-waarde excel

	Capaciteit
	Intensiteit
	Veiligheid
	Snelheid - (opvolg)gedrag -

De (blauwe) rij boven in het figuur, geeft het desbetreffende wegvaknummer weer waar de verschillende effecten voor gelden. Een voordeel van deze overzichtspagina is het overzicht dat verkregen wordt uit de samenstelling van de verschillende inputwaarden alvorens er doorgerekend wordt met deze waarden. De grijze vlakken geven aan dat deze waarde uit de twee eerder genoemde input-bladen komen.

Figuur 12. Input- wegeigenschappen

Rijstroken		2
Wegvak nummer	nr	1
wegvak type	nr type	4
Wegvak type	type	Weefvak
Snelheid freeflow	km/uur	120,00
Reistijd freeflow	seconde	15,00
Afstand	km	0,5
Signalering		ja
Uitvoeringsmaatregel	km	1,50
		4 rijstroken met vluchtstrook
Theoretische capaciteit	Type wegvak	5586,00
Capaciteit reductiefactor - wegvak	1	0%
tussenruimte (uitleggen) --> v langzamer en niet te kort door de bocht	2	0%
	3	0%
	4	4%
	5	0%
Factor		1,8
Percentage vracht		8%
Capaciteit per wegvak		5586,00
Capaciteit bij file		
Toename Capaciteit - MTM	Average	0,019000
Capaciteit Toename opvolggedrag > stnd opvolggedrag		0,000000
Verandering door locatie	Zuid	0
Verandering door verplicht VKS		
Totale toename		0,019
Wegafzetting?		nee
Capaciteit reductiefactor - KP		1,00
Som capaciteit MTM		0,0190
Δintensiteit	Type wegvak	
oprit	2	0,00%
afrit	3	0,00%
weefvak	4	0,00%
Invoegstrook	5	0,00%
Factor I		0%
Veiligheid		
Verandering totaal aantal ongevallen	Average	0,9097
Ratio Secundaire ongevallen	Average	0,8136
Snelheid		
Percentage opvolggedrag - 100	120,00	78,02
Percentage opvolggedrag - 90	120,00	48,05
Percentage opvolggedrag - 70	120,00	28,09
Percentage opvolggedrag als MTM +1 wegvak		23,00
Percentage opvolggedrag als MTM +2 wegvakken		23,00
Percentage dwangmatig	120	50,00

8.3. Throughput - basisgegevens

De inputwaarden van het model worden samen met de bekende basisgegevens verwerkt en verrekend. Om de verschillende uitvoeringsmaatregelen; de effecten van verschillende

matrixsignaalgeverfunctionaliteiten behorende bij de 500 m;1000 m of 1500 m; te testen op de verandering in de baten, zijn er de volgende omgevingsfactoren gebruikt:

Etmaal intensiteiten van onderzoeksgebied; gebaseerd op een steekproef

Voor dit onderzoek is het nodig intensiteit gegevens van de geselecteerde tracédelen in te lezen uit MTR+. Hierbij is er, zijnde een steekproef, de gemiddelde intensiteit voor een werkdag en een weekenddag genomen. De verschillende stappen die achtereenvolgens behoren tot de keuze van de, steekproef, etmaal intensiteit:

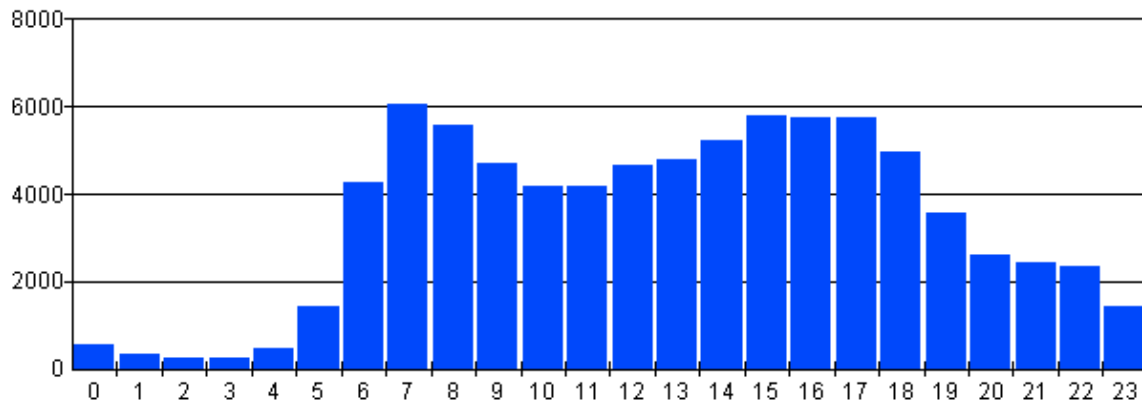
- a) Onderscheiden naar (BCD)-wegcategorieën van Rijkswaterstaat*
 - b) Selectie infrastructurele file locatie*
 - c) Selectie van steekproef data*
 - d) Verdeling etmaal intensiteit MTR+ over een jaar gemiddelde voor werkdag en weekenddag*
-
- a) Onderscheiden naar (BCD)-wegcategorieën van Rijkswaterstaat*
 - Een randvoorwaarde voor de selectie van de onderzoeksgebieden is de differentiatie van wegcategorieën, opdat er verschillende inputwaarden zijn. Er moet minimaal van elke prestatiecategorie één weg inzitten.
 - b) Selectie infrastructurele file locatie*
 - Een tweede randvoorwaarde is het selecteren van onderzoeksgebieden waar structurele filevorming plaatsvindt. Hierbij wordt in acht genomen; om studiegebieden onderling te kunnen vergelijken; dat op de gekozen tracédelen geen tunnels; extreme bochten of andere noemenswaardige obstakels zich bevinden.
 - c) De selectie van steekproef data*
 - Een derde randvoorwaarde is dat de gekozen steekproef locatie voor een intensiteit meting een overgangsgebied is waarbij een ‘hypothetische’ bottleneck plaatsvindt. Hierdoor wordt de hoogste intensiteit gekozen die over het wegvak kan gaan.
 - d) Verdeling van de etmaal intensiteit MTR+*
 - Ten vierde, dient er voor de gekozen etmaal intensiteit een werkdag- en weekenddag gemiddelde te zijn. Hierbij is er gekozen om over het jaar 2011 de etmaal intensiteit te nemen, opdat er volledige data sets gebruikt worden tijdens de analyse.

Intensiteit wegennet

De intensiteit op het wegennet is gehaald uit het maandelijkse telpuntenrapportage MTR+ van Rijkswaterstaat. Deze applicatie geeft intensiteiten per uur, per dag, per maand, per jaar

of per voertuigklasse aan. Deze applicatie geeft een goed inzicht over de toe- en afname van intensiteiten over verschillende tijdsperiodes van de dag verlopen. Een voorbeeld is te zien in figuur 13, waarbij een verdeling van de etmaal intensiteit op de A12 is te zien. Achtereenvolgens zijn de andere etmaalverdelingen te zien voor de steekproeflocaties van de onderzoeksgebieden voor B, C en een D rijksweg.

Figuur 13. Dag intensiteit gekozen scenario's



8.3.1. Onderzoeksgebieden

8.3.2. Onderzoeksgebied A7 – (B-weg)

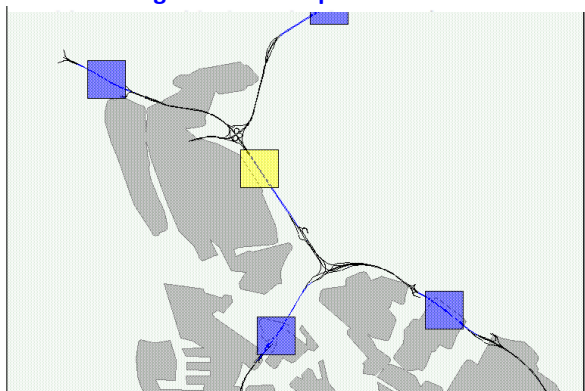
Selectie filelocatie categorie B weg (stap 1 en 2)

Het onderzoeksgebied van de A7 is geselecteerd op basis van de file top 50 locaties in 2011 <http://www.vid.nl/top50.html>

Figuur 14. File top 50 locaties A7

19 ▼	63829	A8	Zaandam → Amsterdam	Coenplein	17	86494
20 ☼	58761	A28	Amersfoort → Utrecht	Rijnsweerd	-	19971
21 ▲	58006	A28	Amersfoort → Zwolle	Leusden	26	59043
22 ▲	57736	A27	Utrecht → Gorinchem	Lexmond	30	53362
23 ▲	56708	A7	Hoorn → Zaandam	Zaandam	27	57876
24 ▼	57417	A13	Rijswijk → Rotterdam	Berkel en Rodenrijs	21	69222
25 ▲	53772	A12	Utrecht → Arnhem	Oosterbeek	42	40009
26 ☼	53416	A9	Alkmaar → Amstelveen	Badhoevedorp (aansl.)	-	20358
				Sliedrecht-West	32	49269

Figuur 15. Steekproeflocatie



Selectie steekproeflocatie (stap 3)

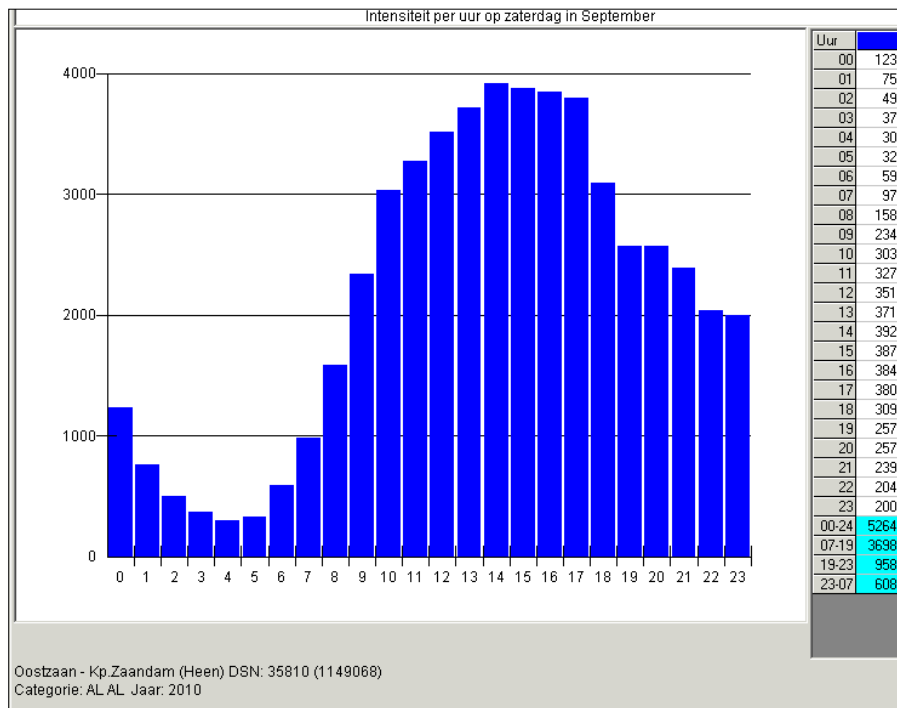
Vervolgens is er gekeken waar telpuntrapportage metingen bekend zijn op dit onderzoeksgebied.

De locatie die voldoet aan de randvoorwaarden is geel gemarkeerd. Dit is de steekproeflocatie waarvoor de etmaal intensiteit is gemeten. De steekproeflocatie is de intensiteit over de A8; waarbij het knelpunt bij Knooppunt Zaandam ontstaat door samenvoeging van deze verkeersstroom op de A7.

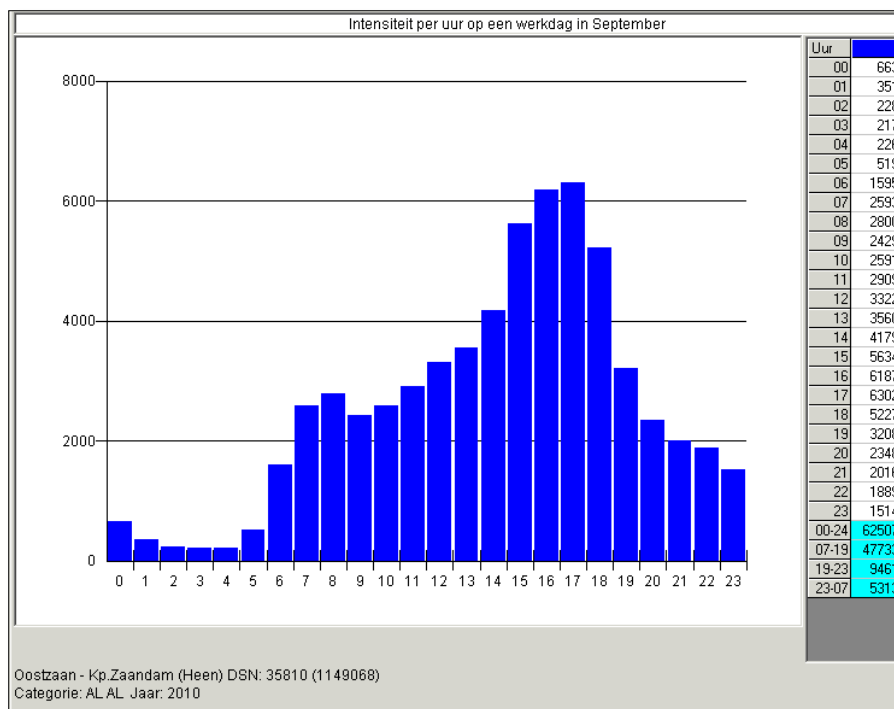
Verdeling etmaal-intensiteit (stap 4)

De verdeling van de etmaalintensiteiten die behoren tot dit onderzoeksgebied zijn te zien in figuur figuur 16 en 17.

Figuur 16. Verdeling etmaalintensiteit weekenddag A7



Figuur 17. Verdeling etmaalintensiteit werkdag A7



Opmerking:

Dat nadrukkelijk wordt omgegaan met verschillende dag-intensiteiten is van belang omdat dit erg fluctueert over de dag. Waardoor effecten over de maanden en jaar gesimuleerd worden.

8.3.3. Onderzoeksgebied A12 – (C-weg)

Selectie filelocatie categorie C weg (stap 1 en 2)

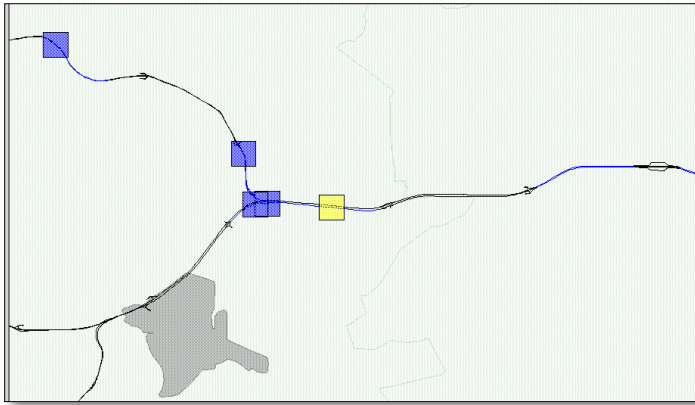
Het onderzoeksgebied van de A12, categorie C weg, is uit analyse van de file top 15 gekomen. TNO heeft onderzoek gedaan naar de top 15 infrastructurele file locaties.

Figuur 18. Top 15 structurele filelocaties A12

	Naam	Beschrijving	Lengte (km)	VVU (x1000)	VVU/km (x1000)	Aandeel infra
1	A4R	Roelofarendsveen -> Zoeterw.-Dorp	11	619	56	87%
2	A1R	Watergraafsmeer (A10) -> Muiderberg (A6)	11	465	42	74%
3	A2R	Vinkeveen -> Utrecht-Centrum	12	464	38	73%
4	A12R	Waddinxveen -> Nieuwerbrug	13	412	32	71%
5	A10L	Bos en Lommer -> Watergraafsmeer (A1)	12	383	32	72%
6	A13R	Ypenburg (A4) -> Kleinpolderplein (A20)	14	383	28	61%
7	A12L	De Meern -> Nieuwerbrug	12	379	30	85%
8	A1L	Bussum -> Diemen (A9)	11	375	34	69%
9	A20R	Schiedam-Noord -> Crooswijk	8	353	45	73%
10	A12R	Oudenrijn (A2) -> Driebergen	11	334	31	84%
11	A10R	Osdorp -> Coenplein (A8)	8	332	40	83%
12	A10R	Zeeburg -> Sloten	10	331	33	80%
13	A9R	Badhoevedorp -> Velsen (A22)	7	297	40	90%
14	A4L	Schiphol -> De Nieuwe Meer (A10)	7	289	40	80%
15	A20L	Terbregseplein (A16) -> Overschie	5	246	48	63%

Figuur 19. Steekproeflocatie A12

Selectie steekproeflocatie (stap 3)

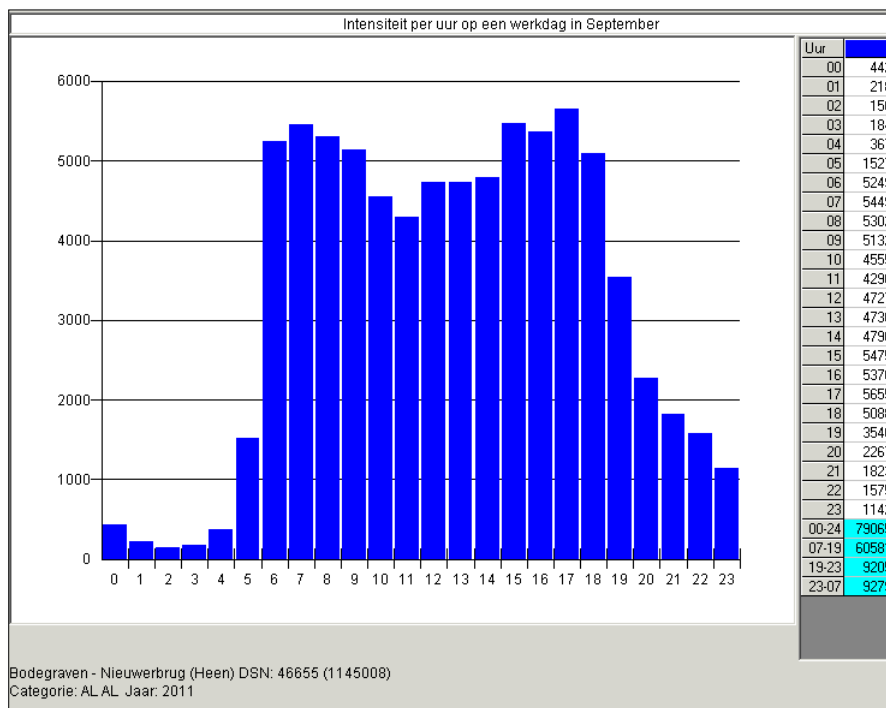


Uit de MTR+ database is een steekproef locatie genomen voor de telling van de etmaalintensiteit. Het gele vierkant in figuur 19 geeft dit weer. Het is een steekproef locatie die dichtbij de beschrijving van de structurele filelocatie komt van het TNO onderzoek (figuur 18).

Verdeling etmaal-intensiteit (stap 4)

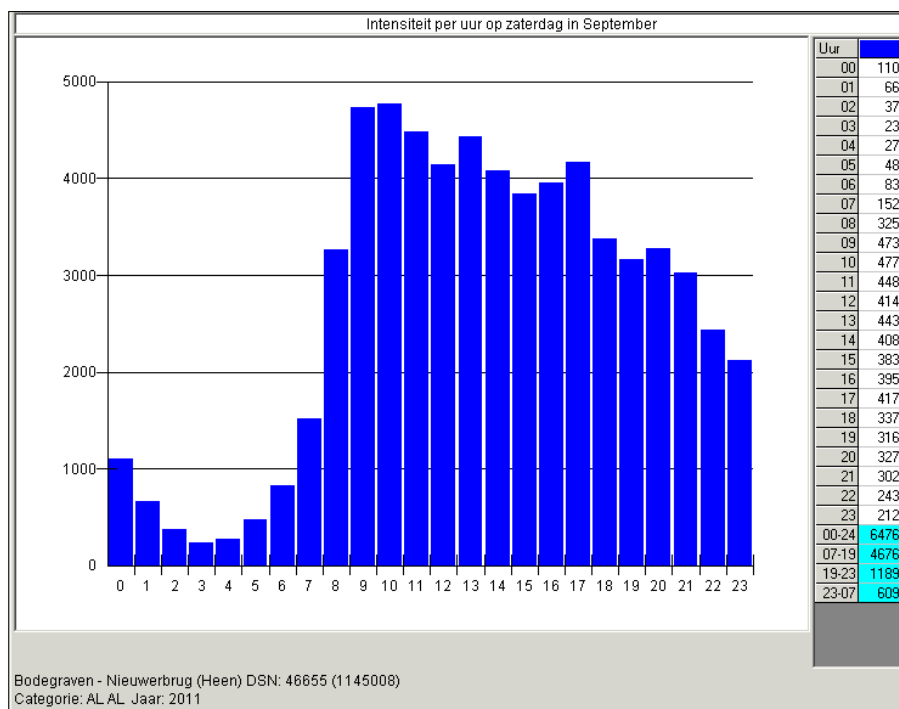
De etmaalintensiteit verdelingen van de A12 voor een gemiddelde werkdag uit 2011 is te zien in bovenstaand figuur. De gemiddelde etmaalintensiteit voor een zaterdag is te zien in figuur 20. Bij het vergelijken van de twee etmaal-verdelingen is te zien dat de werkdag een ochtend- en avondsplits heeft, met een maximale intensiteit van 5655 motorvoertuigen per uur om 17 uur s 'avonds. De verdeling van de etmaalintensiteit is het hoogste op de zaterdagochtend om 10 uur.

Figuur 20. Verdeling etmaalintensiteit werkdag A12



Hieronder, in figuur 21, is de weekenddag verdeling te zien.

Figuur 21. Verdeling etmaalintensiteit weekend A12



8.3.4. Onderzoeksgebied A10 – (D-weg)

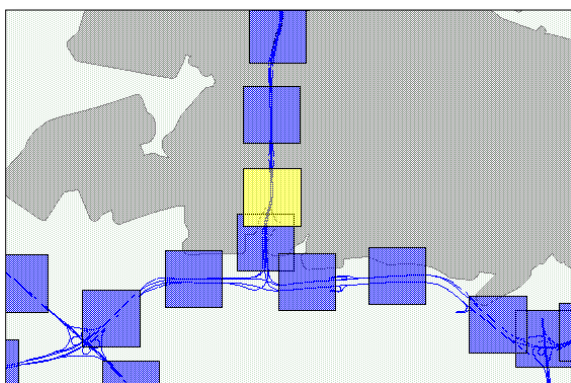
Selectie filelocatie categorie D weg (stap 1 en 2)

Bij de selectie van de steekproef locatie voor een categorie D-weg is wederom gekeken naar de file top 15 locaties uit het onderzoek van TNO (zie figuur 18).

Selectie steekproeflocatie (stap 3)

De steekproeflocatie is bij het knooppunt 'De Nieuwe Meer' genomen. Figuur 22 laat zien dat op deze weg de etmaal intensiteit vele male hoger is dan op de B- en C-weg.

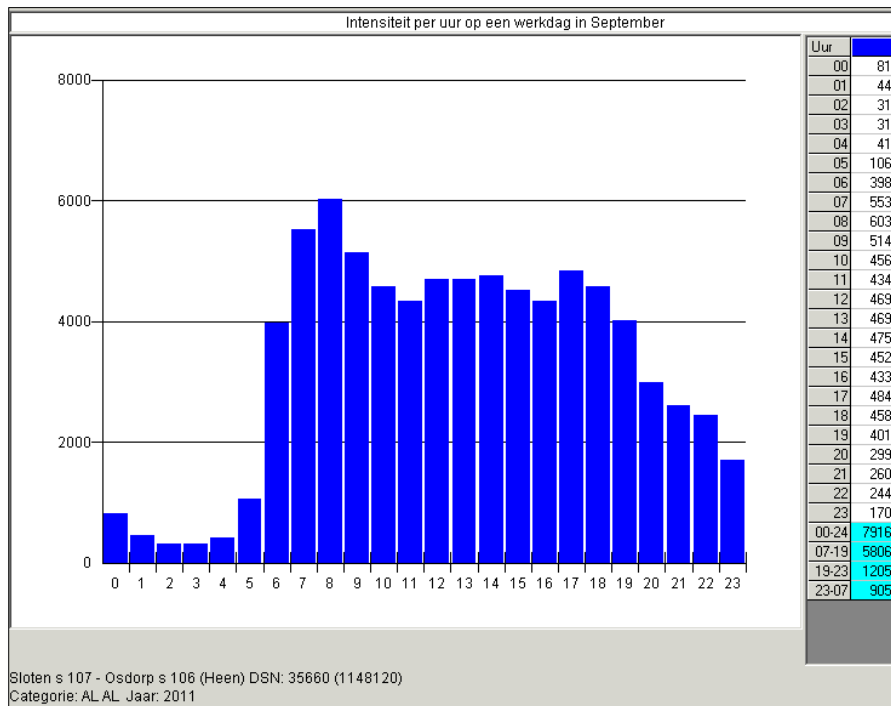
Figuur 22. Steekproeflocatie A10



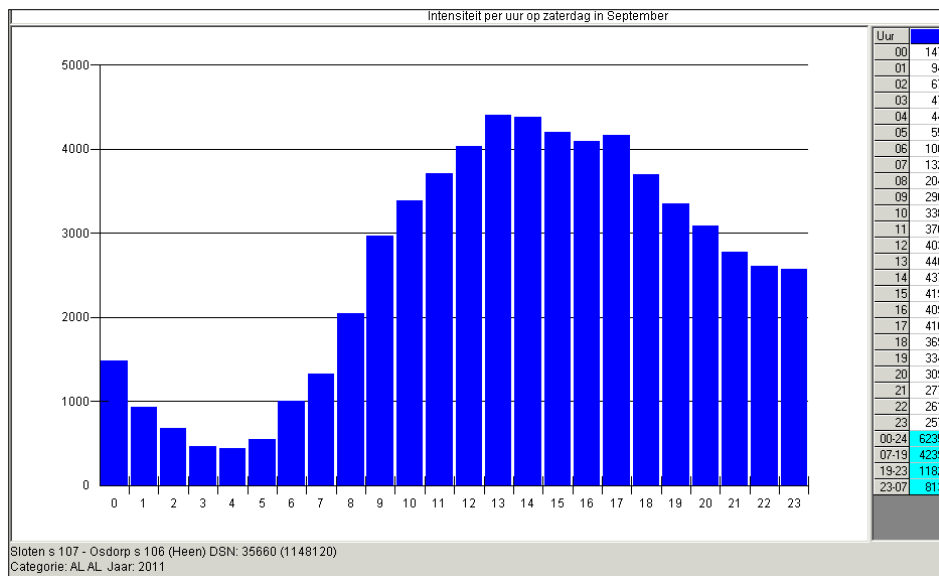
Verdeling etmaalintensiteit (stap 4)

In figuur 23 en 24 zijn de etmaalintensiteiten weergegeven voor een gemiddelde werkdag- en gemiddelde zaterdagintensiteit in 2011. De hoogste intensiteit, op een werkdag, wordt behaald in de ochtendspits om 08:00 uur. Voor een gemiddelde zaterdagintensiteit wordt de hoogste intensiteit, 4373 voertuigen/uur, tussen 13:00 uur en 14:00 uur gemeten.

Figuur 23. Verdeling werkdag A10



Figuur 24. Verdeling weekenddag A10



In excel zijn deze verdelingen weergegeven onder het werkblad – Scenario's—

In excel zijn voor de verschillende onderzoeksgebieden (B;C en D) wegen de gemiddelde zaterdag en gemiddelde werkdag intensiteit weergegeven, zoals in figuur 25 te zien is. De verschillende etmaalintensiteiten zijn weer gegeven in rij 3. Hierbij is te zien dat voor de gemiddelde categorie-D weg (A10), de ringweg, de etmaalintensiteit niet veel verschilt ten opzichte van de categorie-C weg (A12). Waar ze wel in verschillen is de maximale uur

intensiteit. De maximale uur intensiteit komt bij de A12 niet over de 6000 motorvoertuigen per uur.

Figuur 25. Toepassing etmaalintensiteit verdelingen excel

Wegcategorie	kwartieren	B		C		D	
		2	3	5	6	8	9
Etmaal intensiteit	vtg/dag	52644	62507	64764	79065	62350	79169
		Zaterdag	Gemiddelde werkdag	Zaterdag	Gemiddelde werkdag	Zaterdag	Gemiddelde werkdag
1 vtg/uur		2,34%	1,06%	1,71%	0,56%	2,37%	1,03%
2 vtg/uur		1,44%	0,56%	1,03%	0,28%	1,51%	0,57%
3 vtg/uur		0,94%	0,36%	0,58%	0,19%	1,09%	0,39%
4 vtg/uur		0,71%	0,35%	0,36%	0,23%	0,76%	0,39%
5 vtg/uur		0,57%	0,36%	0,43%	0,46%	0,71%	0,53%
6 vtg/uur		0,62%	0,83%	0,74%	1,93%	0,88%	1,35%
7 vtg/uur		1,13%	2,55%	1,28%	6,64%	1,61%	5,03%
8 vtg/uur		1,86%	4,15%	2,35%	6,89%	2,13%	6,99%
9 vtg/uur		3,02%	4,48%	5,03%	6,71%	3,27%	7,62%
10 vtg/uur		4,45%	3,89%	7,31%	6,49%	4,76%	6,50%
11 vtg/uur		5,77%	4,15%	7,37%	5,76%	5,43%	5,77%
12 vtg/uur		6,22%	4,65%	6,92%	5,43%	5,95%	5,49%
13 vtg/uur		6,67%	5,31%	6,40%	5,98%	6,47%	5,94%
14 vtg/uur		7,06%	5,70%	6,84%	5,99%	7,06%	5,93%
15 vtg/uur		7,45%	6,69%	6,30%	6,07%	7,01%	6,01%
16 vtg/uur		7,37%	9,01%	5,93%	6,92%	6,73%	5,72%
17 vtg/uur		7,30%	9,90%	6,10%	6,79%	6,57%	5,48%
18 vtg/uur		7,22%	10,08%	6,44%	7,15%	6,68%	6,12%
19 vtg/uur		5,87%	8,36%	5,22%	6,44%	5,93%	5,79%
20 vtg/uur		4,89%	5,13%	4,89%	4,48%	5,36%	5,07%
21 vtg/uur		4,89%	3,76%	5,05%	2,87%	4,96%	3,78%
22 vtg/uur		4,55%	3,23%	4,66%	2,31%	4,46%	3,30%
23 vtg/uur		3,88%	3,02%	3,77%	1,99%	4,19%	3,09%
24 vtg/uur		3,80%	2,42%	3,28%	1,44%	4,13%	2,15%

8.4. Throughput - Baten

8.4.1. Capaciteit calculatie

De capaciteitscalculator wordt bij Transpute gebruikt bij het berekenen van de capaciteit van tracédelen. De capaciteitscalculator berekent voor verschillende wegconfiguratie de capaciteit, hierbij is aangenomen dat elke weg 1,5 m ruimte heeft naast de rijbaan. De capaciteitscalculator geeft een schatting op basis van de wegconfiguratie en de samenstelling van het wegverkeer er zijn verschillende max. intensiteit waarde uitgekomen voor diverse wegen, zie paragraaf 8.3 van de bijlage.

Binnen het verkeersmodel wordt deze capaciteit aangehouden als capaciteitswaarde op de gekozen tracédelen.

- Het stuk weg is voorzien van matrixsignaalgeversportalen
- Er moet sprake zijn van een hoge intensiteit; waarbij het belangrijk is dat er sprake is van infrastructurele file
- Er moeten MTR + data gegevens bekend zijn over het gekozen weggedeelte.

8.4.2. Beschrijving relatie intensiteit en snelheid

De relatie uit het fundamentele verkeersdiagram is een hyperbool waarbij de asymptoten de grenzen en de curve bepalen van deze functie. In dit excel model wordt de snelheid-intensiteit curve meegenomen als een semi statisch-dynamisch model. e initiatie van het model is statisch, er wordt namelijk een toedeling gemaakt op basis van de verkeersdrukte op het wegvak uitgedrukt naar I/C verhouding. Uit onderzoek van Jaap van Toorneburg is een nieuwe set van snelheid-intensiteit curves gemaakt, deze data is afkomstig van Transpute.

De x-asymptoot die hij gebruikt in zijn model is 1,1 voor een autosnelweg van 120 km/uur waarbij 3 of meer rijstroken zijn. De capaciteit in PAE voor een driestrooksweg wordt verwacht op 6975 PAE/uur. Voor een tweestrooksautosnelweg is deze capaciteit 4650 PAE

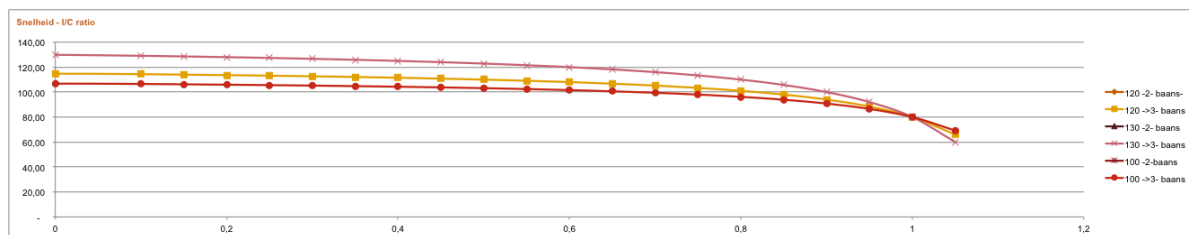
per rijstrook. Waarbij een x-asymptoot van 1,6 wordt gegeven. De x-asymptoot bepaald de mate waarin de parabool naar de asymptoot nadert; en hoe snel hij afneemt. Als bijvoorbeeld de x-asymptoot 1,6 wordt in plaats van 1,2 zal de parabool onder een hogere I/C verhouding een lagere snelheid hanteren, echter wanneer de I/C verhouding naar de asymptoot nadert neemt hij minder snel af. Naarmate de X-asymptoot naar rechts schuift in de grafiek hoe minder snel de curve aan het einde afneemt. Dus hoe hoger de gemiddelde snelheid in file. Dit zou alleen mogelijk zijn in relatie met de capaciteit; of met stimulering van verkeersmaatregelen.

Figuur 26. Inputwaarde Snelheid-Intensiteit curve

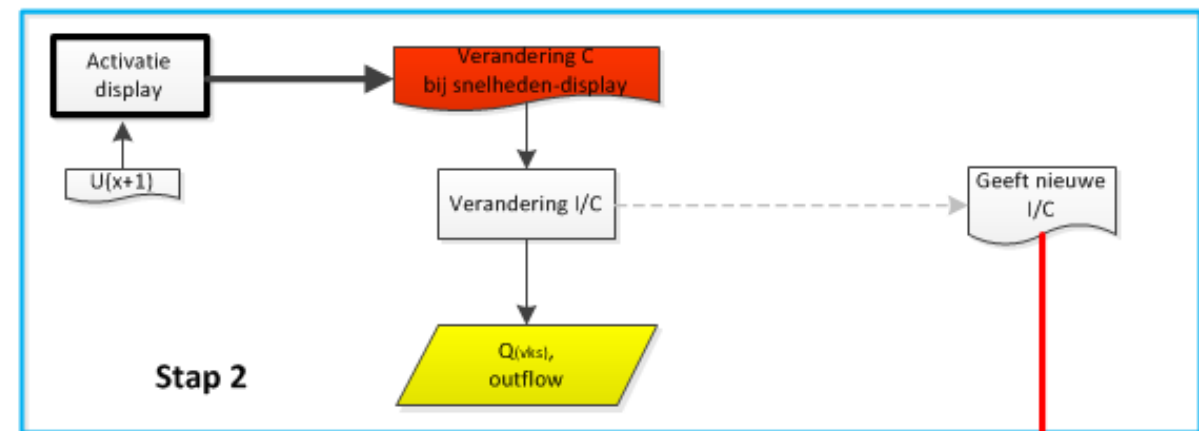
Ontwerpsnelheid	130	
Vrije snelheid PA	121	
Vrije snelheid VA	90	
V-Capaciteit	80	
V-file		60,00
rijstroken	2	
a	12	
X-Asymptoot	1,2	
V-asymptoot	140	

Figuur 27 hyperbolische relatie tussen snelheid in km/uur en de I/C

Figuur 27. Hyperbolische relatie tussen snelheid en I/C



Figuur 28. Flow-chart modellering 'nieuwe capaciteit'



BIJLAGE 9 RESULTATEN

9.1. Resultaten MKBA

De verschillende resultaten uit het beslismodel zijn hieronder uiteengezet. De resultaten zijn opgedeeld naar (I) het inzichtelijk stellen van de verschillende baten onderdelen voor de drie gekozen onderzoeksgebieden.

1. Resultaten A7
2. Resultaten A12
3. Resultaten A10

1. Resultaten baten onderzoeksgebied A7

Tabel 4. Beschrijft de baten –nul-situatie- A7

Beschrijving: Naam weg:	Nulalternatief A7	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	- 0	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren	File (wachtrij)	€ 58.593.815,12	-
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 2.237.545,51	-
		File (ongevallen)	€ 1.687.505,49	-
Veiligheid	Ongevallen		€ 1.530.379,64	-
Totaal		(€/jaar)	€ 64.049.245,76	

Tabel 5. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A7

Beschrijving: Naam weg:	Baten A7	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren	File (wachtrij)	€ 45.866.803,29	€ 12.727.011,83
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 1.948.516,87	€ 289.028,64
		File (ongevallen)	€ 1.297.892,44	€ 389.613,05
Veiligheid	Ongevallen		€ 941.339,66	€ 589.039,98
Totaal		(€/jaar)	€ 50.054.552,26	€ 13.994.693,50

Tabel 6. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A7

Beschrijving: Naam weg:	Baten A7	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 49.685.829,31	€ 8.907.985,81
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 1.963.321,39	€ 274.224,12
Veiligheid		File (ongevallen)	€ 1.374.829,47	€ 312.676,02
	Ongevallen		€ 1.517.701,45	€ 12.678,19
Totaal		(€/jaar)	€ 54.541.681,61	€ 9.507.564,15

Tabel 7. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A7

Beschrijving: Naam weg:	Baten A7	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 51.474.943,76	€ 7.118.871,35
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 2.222.743,53	€ 14.801,97
Veiligheid		File (ongevallen)	€ 1.478.181,07	€ 209.324,43
	Ongevallen		€ 1.776.014,63	€ -245.634,99
Totaal		(€/jaar)	€ 56.951.882,99	€ 7.097.362,77

Tabel 8. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A7

Beschrijving: Naam weg:	Baten A7	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	Homogeniseren 500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 58.205.715,23	€ 388.099,88
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 2.245.769,79	€ -8.224,28
Veiligheid		File (ongevallen)	€ 3.244.810,74	€ -1.557.305,25
	Ongevallen		€ 1.631.941,44	€ -101.561,80
Totaal		(€/jaar)	€ 65.328.237,20	€ -1.278.991,44

Tabel 9. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A7

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 58.205.800,53	€ 388.014,59
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.222.743,53	€ 14.801,97
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 4.285.727,00	€ -2.598.221,50
	Ongevallen		€ 1.640.986,00	€ -110.606,36
Totaal		(€/jaar)	€ 66.355.257,06	€ -2.306.011,30

Tabel 10. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A7

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 58.205.800,53	€ 388.014,59
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.237.545,34	€ 0,17
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 4.295.731,92	€ -2.608.226,43
	Ongevallen		€ 1.707.540,06	€ -177.160,42
Totaal		(€/jaar)	€ 66.446.617,85	€ -2.397.372,09

Tabel 11. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A7

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 58.593.815,12	€ -
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.237.228,46	€ 317,05
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 101.019,57	€ 1.586.485,92
	Ongevallen		€ 8.212,69	€ 1.522.166,95
Totaal		(€/jaar)	€ 60.940.275,83	€ 3.108.969,92

Tabel 12. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A7

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 58.593.815,12	€ -
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 2.237.228,46	€ 317,05
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 101.019,57	€ 1.586.485,92
	Ongevallen		€ 8.212,69	€ 1.522.166,95
Totaal		(€/jaar)	€ 60.940.275,83	€ 3.108.969,92

Tabel 13. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A7

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A7	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 58.593.815,12	€ -
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 2.237.228,46	€ 317,05
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 101.019,57	€ 1.586.485,92
	Ongevallen		€ 8.212,69	€ 1.522.166,95
Totaal		(€/jaar)	€ 60.940.275,83	€ 3.108.969,92

2. Resultaten baten onderzoeksgebied A12

Tabel 14. Beschrijft de baten –nul-situatie- A12

Beschrijving:	Nulalternatief	Functionaliteit:	-	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	0	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 85.623.638,97	-
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 3.218.924,87	-
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 9.020.080,90	-
	Ongevallen		€ 4.036.131,65	-
Totaal		(€/jaar)	€ 101.898.776,39	

Tabel 15. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A12

Beschrijving: Naam weg:	Baten A12	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren	File (wachtrij)	€ 35.203.715,44	€ 50.419.923,52
		Vertraging t.o.v. ontwerpssnelheid	€ 2.712.572,82	€ 506.352,05
Veiligheid	Ongevallen	File (ongevallen)	€ 5.022.303,19	€ 3.997.777,72
			€ 2.478.058,25	€ 1.558.073,41
Totaal		(€/jaar)	€ 45.416.649,69	€ 56.482.126,70

Tabel 16. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A12

Beschrijving: Naam weg:	Baten A12	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren	File (wachtrij)	€ 43.055.727,27	€ 42.567.911,70
		Vertraging t.o.v. ontwerpssnelheid	€ 5.408.334,88	€ -2.189.410,01
Veiligheid	Ongevallen	File (ongevallen)	€ 7.501.815,69	€ 1.518.265,21
			€ 4.037.368,67	€ -1.237,01
Totaal		(€/jaar)	€ 60.003.246,50	€ 41.895.529,89

Tabel 17. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A12

Beschrijving: Naam weg:	Baten A12	Functionaliteit: Uitvoeringsmaatregel:	AID 1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren	File (wachtrij)	€ 47.463.092,75	€ 38.160.546,22
		Vertraging t.o.v. ontwerpssnelheid	€ 3.063.062,51	€ 155.862,36
Veiligheid	Ongevallen	File (ongevallen)	€ 8.028.716,17	€ 991.364,73
			€ 4.724.529,86	€ -688.398,21
Totaal		(€/jaar)	€ 63.279.401,29	€ 38.619.375,10

Tabel 18. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 83.306.899,37	€ 2.316.739,60
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 3.128.336,43	€ 90.588,43
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 3.744.665,73	€ 5.275.415,18
	Ongevallen		€ 8.735.976,42	€ -4.699.844,76
Totaal		(€/jaar)	€ 98.915.877,94	€ 2.982.898,45

Tabel 19. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 83.306.899,37	€ 2.316.739,60
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 3.128.336,43	€ 90.588,43
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 5.622.656,08	€ 3.397.424,82
	Ongevallen		€ 8.770.017,95	€ -4.733.886,30
Totaal		(€/jaar)	€ 100.827.909,84	€ 1.070.866,55

Tabel 20. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 83.306.899,37	€ 2.316.739,60
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 3.128.336,43	€ 90.588,43
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 5.635.782,04	€ 3.384.298,87
	Ongevallen		€ 8.778.115,02	€ -4.741.983,36
Totaal		(€/jaar)	€ 100.849.132,86	€ 1.049.643,54

Tabel 21. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 85.623.638,97	€ -
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 3.200.991,12	€ 17.933,75
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 540.338,12	€ 8.479.742,78
	Ongevallen		€ 10.774,63	€ 4.025.357,02
Totaal			(€/jaar) € 89.375.742,84	€ 12.523.033,56

Tabel 22. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 85.623.638,97	€ -
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 3.200.991,12	€ 17.933,75
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 540.338,12	€ 8.479.742,78
	Ongevallen		€ 10.774,63	€ 4.025.357,02
Totaal			(€/jaar) € 89.375.742,84	€ 12.523.033,56

Tabel 23. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A12

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	
Naam weg:	A12	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		File (wachtrij)	€ 85.623.638,97	€ -
		Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid	€ 3.201.009,36	€ 17.915,51
Veiligheid				
		File (ongevallen)	€ 540.338,12	€ 8.479.742,78
	Ongevallen		€ 10.774,63	€ 4.025.357,02
Totaal			(€/jaar) € 89.375.761,07	€ 12.523.015,32

3. Resultaten baten onderzoeksgebied A10

Tabel 24. Beschrijft de baten –nul-situatie- A10

Beschrijving:	Nulalternatief	Functionaliteit:	-	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	0	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 67.994.612,47	-
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 5.507.594,50	-
Veiligheid		<i>File (ongevallen)</i>	€ 10.562.608,31	-
	Ongevallen		€ 4.939.307,08	-
Totaal		(€/jaar)	€ 89.004.122,35	

Tabel 25. Beschrijft de baten – AID- 500 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	AID	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 29.816.741,55	€ 38.177.870,92
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.846.657,44	€ 3.660.937,06
Veiligheid		<i>File (ongevallen)</i>	€ 8.275.841,52	€ 2.286.766,79
	Ongevallen		€ 3.000.677,60	€ 1.938.629,47
Totaal		(€/jaar)	€ 42.939.918,10	€ 46.064.204,24

Tabel 26. Beschrijft de baten – AID- 1000 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	AID	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 38.243.304,51	€ 29.751.307,95
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.910.210,19	€ 3.597.384,31
Veiligheid		<i>File (ongevallen)</i>	€ 8.689.301,31	€ 1.873.307,00
	Ongevallen		€ 4.965.515,49	€ -26.208,42
Totaal		(€/jaar)	€ 53.808.331,50	€ 35.195.790,85

Tabel 27. Beschrijft de baten –AID- 1500 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	AID	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 42.798.111,86	€ 25.196.500,60
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.836.134,75	€ 3.671.459,75
Veiligheid		<i>File (ongevallen)</i>	€ 9.414.490,87	€ 1.148.117,43
	Ongevallen		€ 5.892.581,92	€ -953.274,84
Totaal		(€/jaar)	€ 59.941.319,40	€ 29.062.802,95

Tabel 28. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 500 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 66.317.641,43	€ 1.676.971,03
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.920.685,70	€ 3.586.908,80
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 4.582.619,08	€ 5.979.989,23
	Ongevallen		€ 10.233.688,72	€ -5.294.381,64
Totaal		(€/jaar)	€ 83.054.634,93	€ 5.949.487,42

Tabel 29 . Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1000 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1000	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 66.317.641,43	€ 1.676.971,03
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.920.685,70	€ 3.586.908,80
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 7.012.753,13	€ 3.549.855,18
	Ongevallen		€ 10.276.143,95	€ -5.336.836,88
Totaal		(€/jaar)	€ 85.527.224,21	€ 3.476.898,13

Tabel 30. Beschrijft de baten –Homogeniseren- 1500 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Homogeniseren	
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1500	Meters
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resultaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 66.317.641,43	€ 1.676.971,03
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 1.920.685,70	€ 3.586.908,80
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 7.029.124,23	€ 3.533.484,07
	Ongevallen		€ 10.285.631,57	€ -5.346.324,49
Totaal		(€/jaar)	€ 85.553.082,93	€ 3.451.039,41

Tabel 31. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 500 m - A10

Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	Meters
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	500	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 67.994.612,47	€ -
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.023.773,88	€ 3.483.820,62
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 623.346,71	€ 9.939.261,60
	Ongevallen		€ 13.438,45	€ 4.925.868,62
Totaal		(€/jaar)	€ 70.655.171,51	€ 18.348.950,84

Tabel 32. Beschijft de baten –Kruis-Pijl-1000 m - A10

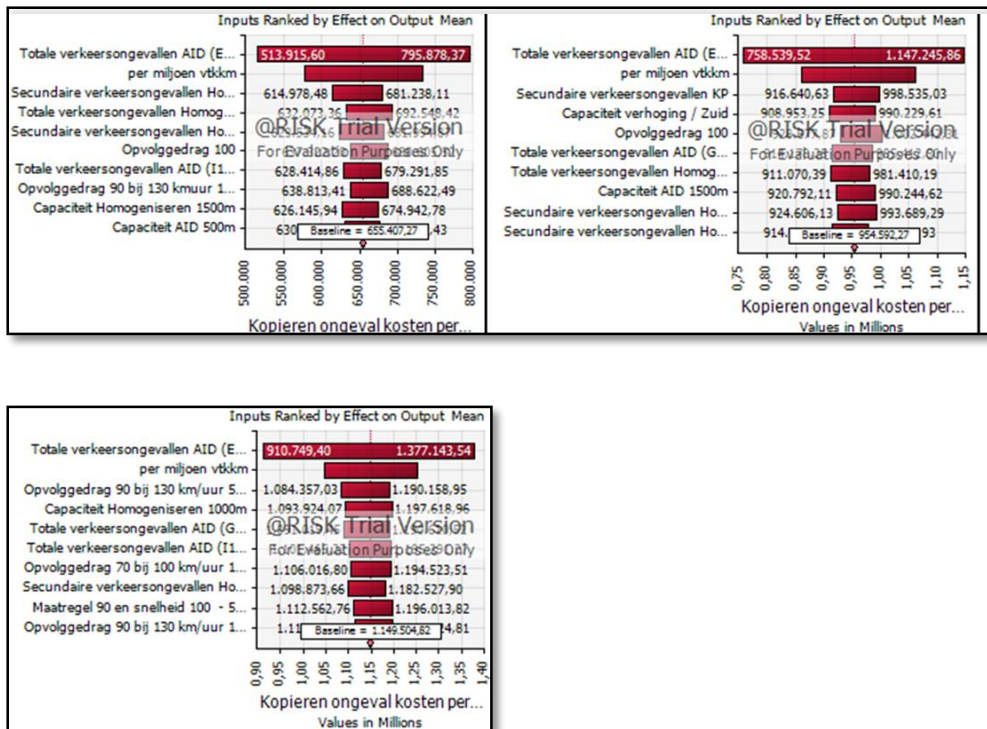
Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	Meters
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1000	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 67.994.612,47	€ -
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.023.773,88	€ 3.483.820,62
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 633.150,44	€ 9.929.457,86
	Ongevallen		€ 13.438,45	€ 4.925.868,62
Totaal		(€/jaar)	€ 70.664.975,24	€ 18.339.147,11

Tabel 33. Beschrijft de baten –Kruis-Pijl- 1500 m - A10

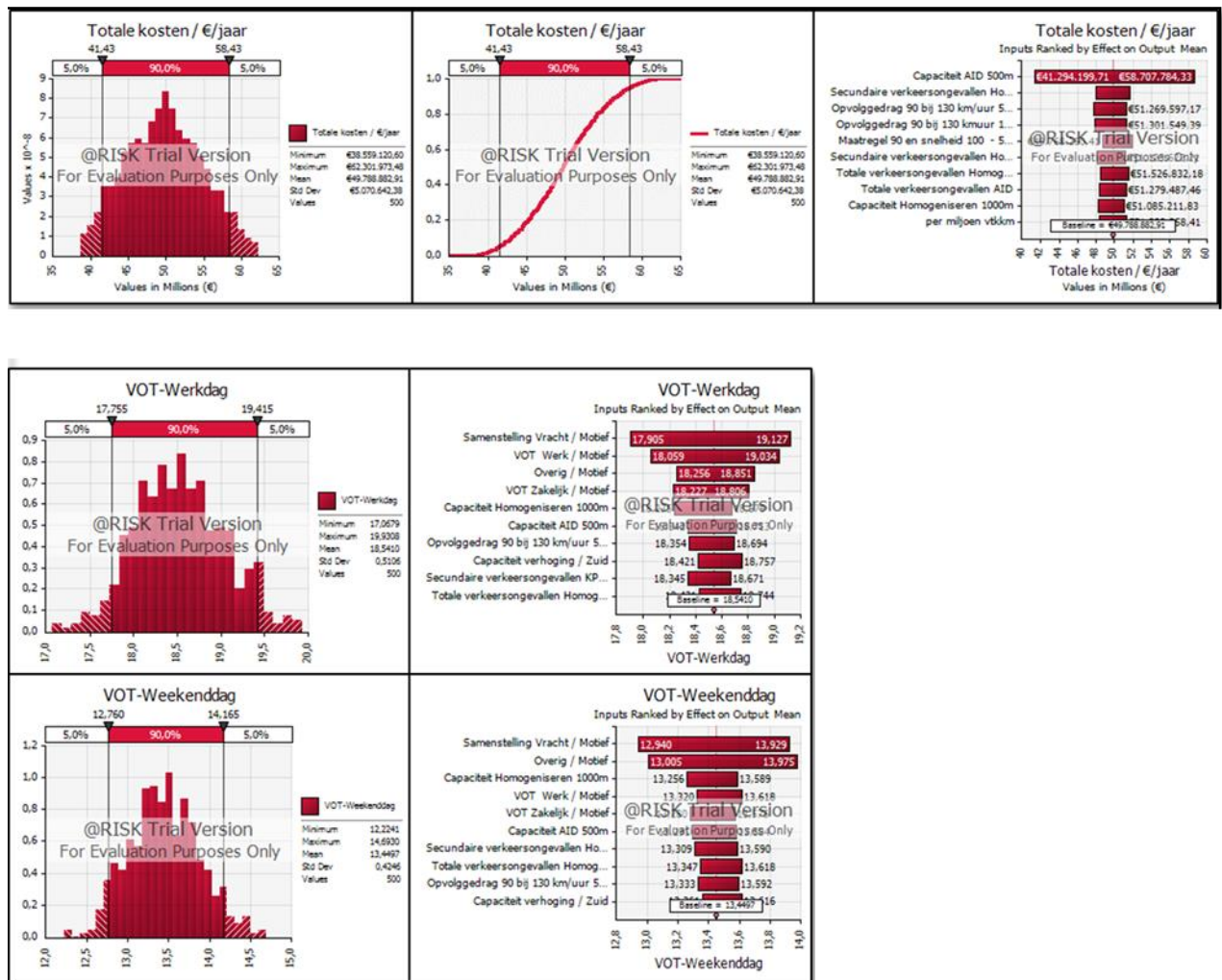
Beschrijving:	Baten	Functionaliteit:	Kruis-Pijl	Meters
Naam weg:	A10	Uitvoeringsmaatregel:	1000	
Overzicht Baten	Gemeten in	Te verdelen in	Resulaten (€/jaar)	Baat (€/jaar)
Bereikbaarheid				
	Voertuigverliesuren			
		<i>File (wachtrij)</i>	€ 67.994.612,47	€ -
		<i>Vertraging t.o.v. ontwerpsnelheid</i>	€ 2.023.773,88	€ 3.483.820,62
Veiligheid				
		<i>File (ongevallen)</i>	€ 633.150,44	€ 9.929.457,86
	Ongevallen		€ 13.438,45	€ 4.925.868,62
Totaal		(€/jaar)	€ 70.664.975,24	€ 18.339.147,11

9.2. Gevoeligheidsanalyse

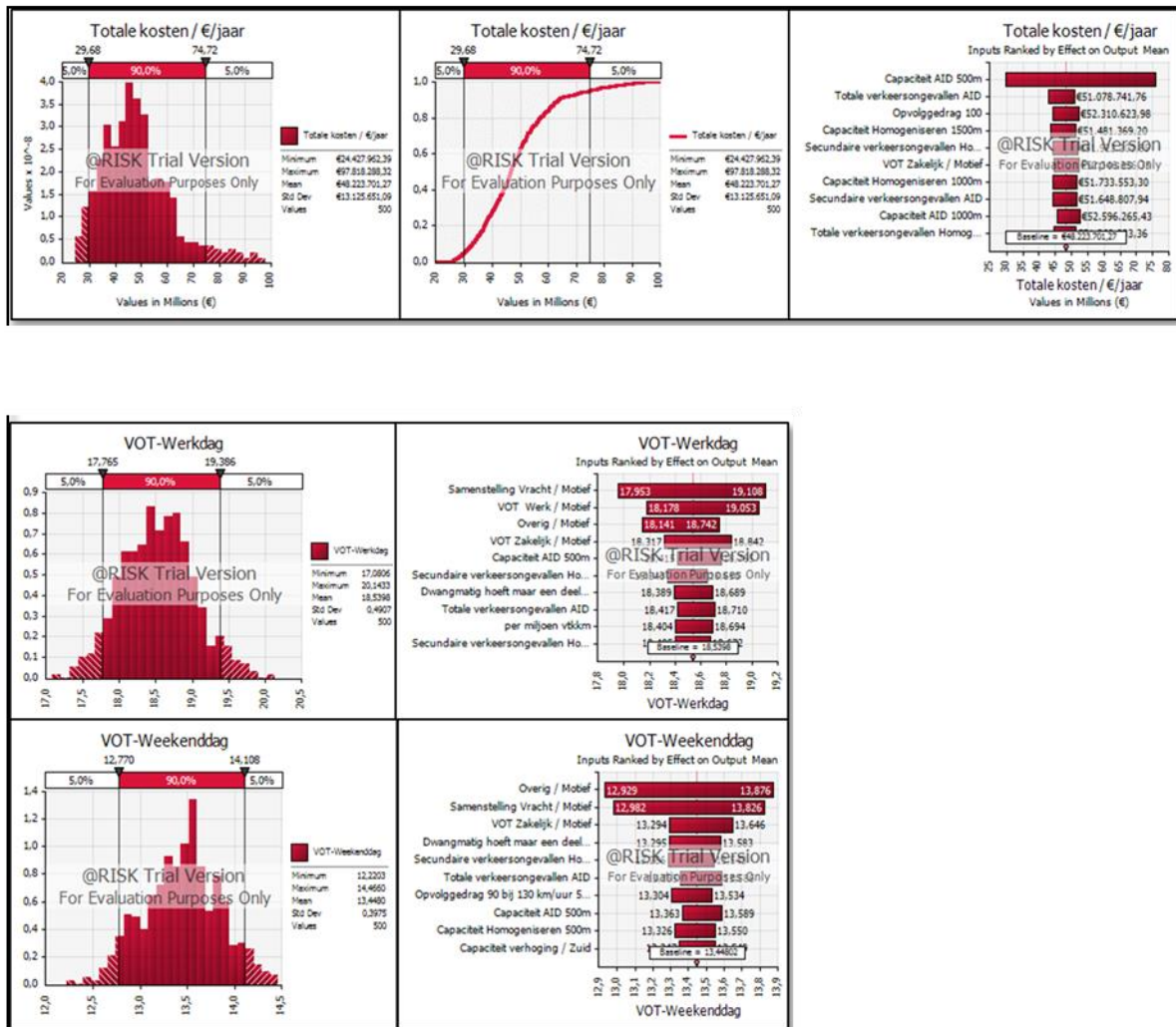
Figuur 45. Impact van de inputvariabelen van de B-; C-; en D-weg op Verkeersveiligheid



Figuur 46. Resultaten gevoeligheidsanalyse B-weg A7



Figuur 47. Resultaten gevoeligheidsanalyse B-weg A12



Figuur 48. Resultaten gevoeligheidsanalyse B-weg A12

