

De relatie tussen snelheidslimietverandering en verkeersveiligheid

Een literatuurstudie



Datum	27 september 2011
Opdrachtgever:	Dienst Verkeer en Scheepvaart
Auteur:	Jan-Willem van der Pas
ISBN/EAN:	978-90-5638-253-7

Voorwoord

Deze studie is uitgevoerd in februari 2011 in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

De auteur wil graag Bert van Wee en Marjan Hagenzieker van de Technische Universiteit van Delft bedanken voor het actief meelesen met deze notitie en voor de tips en suggesties die ik van hen heb mogen krijgen.

Jan-Willem van der Pas

Samenvatting

De VVD en het CDA hebben op 30 september 2010 een regeerakkoord gesloten waarin onder andere door de partijen werd afgesproken op delen van het snelwegennet de wettelijke maximum snelheid te verhogen van 120km/u naar 130km/u. Om dit te realiseren worden door de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) en andere partijen verschillende implementatie scenario's ontwikkeld. Parallel daaraan is een aantal proeftrajecten geïdentificeerd waar al in het voorjaar van 2011 130Km/u gereden zal mogen worden (vanaf 1 maart 2011 o.a. op de afsluitdijk).

Om te komen tot een goede implementatie van de nieuwe snelheidslimiet (130km/u) wil DVS weten welke wetenschappelijke modellen gebruikt kunnen worden om de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid te representeren. De centrale vraag hierbij is:

Welke wetenschappelijke modellen geven onderbouwing over de relatie tussen snelheden van verkeer en verkeersveiligheid?

Op basis van een literatuurstudie wordt geconcludeerd dat er ondanks het grote aantal onderzoeken op dit gebied toch nog veel onzekerheid is. Uiteindelijk concluderen we dat de Power Functions van Nilsson het best gebruikt kunnen worden (al dan niet met de exponenten van Elvik et al.,2004). Het verdient wel de aanbeveling op een juiste wijze om te gaan met alle onzekerheden die er nog zijn als het gaat om de relatie tussen snelheid en verkeersveiligheid. Dit kan op verschillende manieren, o.a. door juiste communicatie van deze onzekerheden, het doen van een goede gevoeligheidsanalyse en het gebruik van nieuwe modelleer technieken zoals Exploratory Modelling.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Inhoudsopgave	5
1 Aanleiding en Inleiding	6
2 Snelheid en verkeersongevallen in het algemeen.....	8
3 Resultaten van de literatuurstudie.....	9
3.1 De Methode.....	9
3.2 De Resultaten	10
4 De representatie van de relatie tussen snelheid en ongevallen	13
4.1 De verschillende plausibele relaties tussen snelheid en ongevallen	13
4.2 Het Powermodel van Nilsson	17
4.3De exponentiele functies van Kloeden et al.....	19
5 Bruikbaarheid van beschikbare algoritmen	20
6 Conclusies & Aanbevelingen	22
Referenties	25

1 Aanleiding en Inleiding

In het regeerakkoord dat de VVD en het CDA op 30 september 2010 sloten werd door de partijen afgesproken op delen van het snelwegennet de wettelijke maximum snelheid te verhogen van 120km/u naar 130km/u. Om dit te realiseren worden door de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) en andere partijen verschillende implementatiescenario's ontwikkeld. Parallel daaraan is een aantal proeftrajecten geïdentificeerd waar al in het voorjaar van 2011 130km/u gereden zal mogen worden (o.a. op de afsluitdijk).

Om de verkeersveiligheidseffecten van de verschillende implementatiescenario's door te kunnen rekenen heeft DVS de TU Delft benaderd met de volgende vraag:

Welke wetenschappelijke modellen geven onderbouwing over de relatie tussen snelheden van verkeer en verkeersveiligheid?

Er is een inventarisatie nodig van de beschikbare (wetenschappelijke) kennis over (maximum)snelheid en verkeersveiligheid om inzicht te krijgen in de geldende inzichten. De nadruk ligt hierbij op de verkeersveiligheidsconsequenties van een verhoging van de maximumsnelheid naar 130km/u van zowel 100km/u als 120km/u.

Om de onderzoeksvraag van DVS te beantwoorden is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de beschikbare (wetenschappelijke) kennis over de relatie tussen snelheidsverandering en verkeersveiligheid. Meer specifiek is er ook gekeken naar de beschikbare kennis over het veranderen van wettelijke snelheidslimieten en de effecten daarvan op verkeersveiligheid. Er is met name gekeken naar:

- De bestaande relevante kennis (modellen, algoritmen) met betrekking tot de relatie tussen snelheidsverandering en verkeersveiligheid. (Relevant is: in theorie toepasbaar voor de specifieke snelheidslimietveranderingen van 120-130km/u en 100-130km/u.);
- de achtergrond van de relevante beschikbare kennis (onderzoek/bron beschrijvend en onderzoek inhoudelijk);
- de toepasbaarheid van de relevante kennis op de specifieke snelheidslimietveranderingen van 120-130km/u en 100-130km/u in Nederland. Denk bijvoorbeeld aan: is het onderzoek toepasbaar op de Nederlandse situatie?

Het onderzoek was zeer beperkt in scope, er is dan ook maar een zeer beperkt aantal uren besteed aan het daadwerkelijke literatuuronderzoek (6 dagen literatuuronderzoek en 2 dagen rapportage).

Dit betekent dat er tijdens het onderzoek praktische keuzes gemaakt zijn (bijvoorbeeld: er is niet heel veel tijd gestoken in het achterhalen van moeilijk vindbare bronnen). In eerste instantie is gezocht in de databases: Web of Science en Scopus. Deze literatuur is aangevuld met relevante literatuur uit Google Scholar en literatuur gebruikt in eerdere publicaties van de onderzoekers.

In paragraaf 2 wordt een algemene inleiding gegeven over snelheid en de invloed van snelheid op ongevallen. Paragraaf 3 gaat verder in op de literatuurstudie en de algemene resultaten. In paragraaf 4 gaan we dieper in op de relatie tussen snelheid en ongevallen. In paragraaf 5 wordt een korte toelichting geven op de bruikbaarheid van de gevonden algoritmen voor de situatie in Nederland. Tenslotte trekken we in paragraaf 6 conclusies op basis van de resultaten van de literatuurstudie en geven we nog enkele aandachtspunten aan de lezer mee.

2 Snelheid en verkeersongevallen in het algemeen

Als het gaat om de relatie tussen snelheid en ongevallen heeft de gereden snelheid invloed op twee belangrijke aspecten (zie ook Aarts (2004)):

- de kans betrokken te raken bij een ongeval;
- de ernst van een ongeval (fataal, zwaargewond, licht gewond, etc.).

Snelheid is een belangrijke factor bij zowel de kans om betrokken te raken bij een ongeval als bij de ernst van een ongeval. Toch is snelheid zeker niet de enige factor. Andere belangrijke factoren zijn het snelheidsverschil, de fysieke kenmerken van de weg, en verkeersintensiteit (Aarts, 2004).

Al deze bovengenoemde factoren dragen ook bij aan de onderlinge verschillen tussen de uitkomsten van de verschillende onderzoeken naar de relatie tussen snelheid en ongevallen (en dus de onzekerheid).

3 Resultaten van de literatuurstudie

3.1 De Methode

Tabel 1 geeft een beknopt overzicht van het aantal resultaten dat het zoeken met de verschillende lemma's oplevert. Gezien de beperkte scope van de opdracht is ervoor gekozen de zoekresultaten (kolom "resultaat") op verschillende manieren te filteren:

- Sorteren op citatie index. Het zoeken met de lemma's: "speed", "safety" en "traffic", levert bijvoorbeeld 1008 resultaten in de database Web of Science. Als men deze sorteert op citatie dan komen de meest geciteerde artikelen naar boven. Van de eerste 50 hebben we vervolgens op basis van het abstract bepaald of deze relevant zijn. (In dit geval is het eerste echt relevante het artikel van Aarts en Van Schagen uit 2006. Dit artikel staat op nummer 7, en werd 53 keer geciteerd);
- filteren middels extra lemma's. Bij het zoeken in de grote hoeveelheden publicaties is er ook gefilterd met behulp van extra lemma's (bijvoorbeeld: zoeken in de database Web of Science met de lemma's: "speed", "safety" en "traffic", levert 1008 resultaten, binnen deze resultaten zoeken op het woord "vehicle" levert 446 resultaten);
- filteren op tijdschrift (journal). Bij hele grote aantallen is er ook gefilterd op journal. Er zijn een aantal journals die een grotere waarschijnlijkheid hebben om relevante artikelen te publiceren over dit specifieke onderwerp. Het is dan ook interessant om een eerste selectie te maken op basis van journal. (Bijvoorbeeld: zoeken in Scopus met de lemma's: "Speed, limit" en "accident" levert 1.024 zoekresultaten. Limiteren tot alleen de journals: Accident Analysis and Prevention, Journal of Safety Science, Journal of Transportation Engineering en Traffic Injury Prevention, resulteert in 231 studies (overigens zijn deze dan nog niet allemaal relevant, ook hiervan moeten weer eerst de abstracts gelezen worden)).

Wellicht nog veel belangrijker en effectiever is, dat we van de relevante literatuur ook de referenties doorzocht hebben naar alternatieve bronnen (de sneeuwbal methode). Deze zijn uiteindelijk ook meegenomen in de studie.

Tabel 1 Indicatie van zoekresultaat

Database	Lemma's	Resultaat
Scopus	<i>Speed, safety, traffic</i>	544
	<i>Speed, limit, safety</i>	370
	<i>Speed, limit, accident</i>	1.024
	<i>Speed, safety accident</i>	3.263
Web of Science	<i>Speed, safety, traffic</i>	1.008
	<i>Speed, limit, safety</i>	370
	<i>Speed, limit, accident</i>	111
	<i>Speed, safety accident</i>	427

3.2 De Resultaten

De gevonden literatuur kan op vele manieren gecategoriseerd worden. Voor deze publicatie onderscheiden we drie grove categorieën van type studies:

- 1) Studies die een beschrijving geven van een specifieke (lokale, regionale, nationale) verandering van de snelheidslimiet, of effecten van een snelheidbeperkende maatregel (Deze zoeken dus niet expliciet naar een generaliseerbare relatie);
- 2) studies die wat breder (op basis van empirie) op zoek gaan naar de relatie tussen snelheidsverandering en ongevallen, en daarmee ook expliciet uitspraken willen doen over deze relatie;
- 3) studies met het karakter van een meta-studie; deze beschrijven op basis van de beschikbare literatuur, of op basis van datasets van hele grote gebieden, de verschillende mogelijke relaties tussen snelheidsverandering en ongevallen.

Studies die een specifiek gebied of een specifieke snelheidslimietverandering bespreken zijn er zeer veel. Een groot deel van de studies beschrijft de situatie na een snelheidslimietwijziging. Een groot aantal van deze studies is afkomstig uit de Verenigde Staten. In de VS werd in 1974 the National Maximum Speed Limit Law ingevoerd (55 Mp/h). In 1987 werd vervolgens de vrijheid gegeven aan de verschillende staten om de maximale snelheidslimiet omhoog te brengen van 55 naar 65 Mp/h. In 1995 tekende president Clinton een wet die de Staten in staat stelt om zelf te bepalen wat de maximale wettelijke snelheidslimiet is. Deze geschiedenis zorgde voor een uniek aantal casestudies naar de effecten van het veranderen van de maximale snelheid. Er is dan ook een groot aantal studies dat de effecten op verkeersveiligheid beschrijft. Toch komen ook deze studies niet tot een eenduidig effect. Zo maakt het grootste gedeelte van de studies melding van negatieve, tot zeer negatieve effecten op de verkeersveiligheid (zie bijvoorbeeld: Wagenaar et al. (1990)). Een kleiner aantal onderzoekers vindt echter geen statistisch significante effecten (Chang en Paniatti (1990)), of maken melding van een positief effect (zie bijvoorbeeld: Lave en Elias (1993). Tabel 2 geeft een indicatie van de resultaten uit de V.S. en de grootte van het veronderstelde effect. Er is een veelvoud aan studies te vinden die een beschrijving geven van de effecten Tabel 2 is een eerste indicatie (een groot aantal studies is ook terug te vinden in Elvik et al. 2004, pp. 39 en verder). Naast de publicaties uit de VS zijn er studies uit een groot aantal landen die soortgelijke conclusies trekken (zie bijvoorbeeld: Israel: Friedman et al. (2007), Denemarken: Reiff et al.(2008)).

Tabel 2 Overzicht van enkele studies n.a.v. limiet verhoging in USA en belangrijkste resultaten.

Land	#	Bron	Verandering	Richting	Grootte van effect	Data set
USA	1	Wagenaar et al. (1990)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+19.2% dodelijke +39.8% zwaar gewond + 25.4% lichtgewond	V.S.
	2	Baum et al. (1989)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+ 15% dodelijk	38 staten
	3	Baum et al. (1991)	55Mp/h naar 65 Mp/h	Negatief	+ 29% dodelijke ongevallen + 19% meer ongevallen	48 staten
	4	Ossiander & Cummings (2002)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+ 2.1 keer zoveel ongevallen met dodelijke afloop	Washington
	5	Farmer et al (1999)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+17% dodelijk	24 staten
	6	Rock (1995)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+ 300 ongelukken per maand (absoluut aantal)	State of Illinois
	7	Kockelman (2006)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Negatief	+ 3.3% ongelukken + 24% kans op dodelijk	Washington state and others
	8	Lave & Elias (1993)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Positief	-3.4-5.1% dodelijk	California
	9	Sidhu (1990)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Positief	-	Illionois
	11	Chang & Paniati (1990)	55Mp/h naar 65 Mp/h (≈89 – 105Km/u)	Geen statistisch significant effect	-	Heel de V.S.

Studies die onderzoek doen naar de relatie tussen snelheid en ongevallen zijn er ook genoeg. Vrijwel de bekendste en meest gebruikte relaties zijn de Power Functions van Nilsson (1982, 2004). Tabel 3 laat de verschillende modellen zien die in de literatuur veel genoemd worden. Op basis van de verschillende meta-studies die uit de literatuur naar voren komen zullen we in de volgende paragraaf de relaties kort bespreken.

In de literatuur komen verschillende meta-studies voor. Zo heeft Aarts in 2004 een uitvoerige literatuurstudie gedaan. Elvik et al. (2004) en Kockelman (2006) gebruiken de beschikbare literatuur en doen additionele statistische analyses, waarbij de analyse van Elvik is toegespitst op het valideren van het Powermodel (van Nilsson) en Kockelman een meta-studie uitvoert ten aanzien van de limietwijzigingen in de VS (op basis van literatuur, enquêtes en data-analyse).

De analyses geven een goed beeld van de "state of the art" kennis op het gebied van snelheids(limiet)wijzigingen en ongevallen. Dat blijkt uit: (1) de inhoud van de rapporten is in algemene zin nog actueel en er is in de aannames weinig tot niets veranderd, (2) de rapportages worden door anderen nu nog geciteerd als het gaat om effectberekeningen van snelheidsveranderingen en (3) als onderdeel van de literatuurstudie hebben we bij elk zoekresultaat ook geselecteerd op publicaties van na 2004. Aangenomen is dat studies van na 2004 niet opgenomen zijn in de metastudies en wellicht nieuwe inzichten kunnen bevatten; de resultaten laten

zien dat dat niet zo is. Bijvoorbeeld zoeken in de database Scopus met de lemma's: " Speed", "limit", en "accident" levert 1024 resultaten, waarvan 489 van na 2004. Van deze 489 studies zijn de abstracts gescand en geen van de studies bevatten dermate nieuwe inzichten over de relatie tussen snelheid en ongevallen dat het gebruik van de metastudies niet langer gerechtvaardigd zou zijn.

4 De representatie van de relatie tussen snelheid en ongevallen

4.1 De verschillende plausibele relaties tussen snelheid en ongevallen

In Nederland is in het verleden weinig empirisch onderzoek gedaan naar de relatie tussen verandering in snelheid (limiet) en verandering in verkeersveiligheid. De studies die zijn uitgevoerd zijn veelal gedaan door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) (zie bijvoorbeeld: Roszbach en Blokpoel (1991); Oei en Polak (1992); Goldenbeld et al. (2004)). Daarnaast heeft de SWOV uitgebreid onderzoek gedaan naar de relatie tussen gereden snelheid en ongevallen op basis van buitenlands onderzoek. Van 2003 – 2006 heeft onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevallen prominent deel uitgemaakt van het onderzoeksprogramma van de SWOV. Dit heeft geresulteerd in wetenschappelijk hoogstaande publicaties over dit onderwerp en rapporten die nationaal en internationaal veelvuldig geciteerd worden (zie bijvoorbeeld: Aarts (2004); Aarts en Van Schagen (2006)).

De resultaten van onderzoek naar de relatie tussen snelheid en ongevalsrisico zijn absoluut niet eenduidig. In een uitgebreide beschrijving van de internationaal beschikbare literatuur over dit onderwerp laat Aarts (2004) zien dat er drie verschillende typen relaties uit onderzoek naar voren komen. Een andere meta-studie is gedaan door Elvik et al. (2004), Zij voeren eigen statistische analyses uit op grote hoeveelheden data (meta-dataset). In deze meta-dataset komen vier Nederlandse studies voor (Rijkswaterstaat (1989); Roszbach (1990); Oei en Polak (1992) en Goldenbeld et al., (2003)). Verrassend genoeg zijn de resultaten van de studies die een meta-analyse uitvoeren van de beschikbare literatuur ook niet altijd even eenduidig. Zowel Aarts als Elvik et al. concluderen dat er op basis van de empirie drie typen verbanden voorkomen tussen verandering in gereden (absolute) snelheid en verschil in risico op een bepaald type ongeval:

- Exponentiële verbanden
- Lineaire verbanden
- Asymptotische verbanden

Aarts (2004) laat zien dat de meeste onderzoeken komen tot een exponentieel verband (bij individuele snelheid). Zij concludeert op basis van verschillende factoren dat Kloeden et al. (1997, 2001 en 2002) het meest betrouwbare exponentiële model hebben.

Ook Elvik et al. (2004) komen tot de conclusie dat er drie verschillende verbanden in de literatuur voorkomen. Net als Aarts komen Elvik et al. (2004) tot de conclusie dat een exponentiële functie het meest waarschijnlijk is (indien men de individuele voertuigsnelheid gebruikt in de berekening). De

representatie van de meest waarschijnlijke functie bij verandering in gemiddelde snelheid op een wegsectie, is het Powermodel (Nilsson 2004). De modellen van Elvik et al. (2004) zijn geschat op basis van een meta-analyse studie, waarvan 98 internationale studies deel uit maakten.

Waar Aarts (2004) concludeert dat de relatie van Kloeden (1997, 2001, 2002) het meest betrouwbaar is (op basis van nauwkeurigheid van de onderzoeksmethode en de gebruikte gegevens), worden de onderzoeken van Kloeden et al. (1997, 2001, 2002) door Elvik et al. (2004) bewust uit de case studie gelaten omdat deze "potentieel systematische fouten in de metingen" zou hebben. In plaats hiervan bevestigen Elvik et al. het Powermodel van Nilsson (1982, 2004), overigens wel met iets andere exponenten.

Op basis van een drietal argumenten concluderen Elvik et al. vrij stellig dat een lineair model niet plausibel is. 1) Ze beargumenteren dit door vast te stellen dat het terugbrengen van de snelheid van 125 naar 120 km/u dan hetzelfde effect zou hebben op het aantal dodelijke ongevallen als het terugbrengen van de snelheid van 50 naar 45 km/u; dit achten zij niet plausibel. 2) Een tweede argument wordt gevonden in het feit dat voor grote snelheidsverlagingen een lineair model onzinresultaten geeft. Zo laat een snelheidsreductie van 25km/u een afname van 110% in het aantal dodelijke ongevallen zien. 3) Ten slotte, stellen Elvik et al. dat het theoretisch gezien niet plausibel is om een relatieve verandering te modelleren als een functie van een absolute verandering. Overigens gaat het eerste argument ook op voor het Powermodel zoals geschat door Elvik et al. waar het effect van een snelheidsverlaging van 100 naar 50km/u gelijk wordt verondersteld met het verlagen van de snelheid van 10 naar 5km/u (voor snelheden onder de 25km/u wordt het model dan ook niet valide geacht). Ook het asymptotische model is door Elvik et al. getest met behulp van de data uit de verschillende literatuur. Conclusie is dat het model goed passend is voor de data, maar niet beter dan het Powermodel.

Naast de drie type modellen die horen bij de relatie tussen absolute snelheid en de kans betrokken te raken bij een bepaald type ongeval, komen er uit de literatuur ook U-vormige modellen naar voren. Deze U-vormige modellen representeren de relatie tussen de snelheidsvariantie en het risico op een ongeval met een bepaalde afloop. Meer recente studies vonden in tegenstelling tot de U-curves van Solomon (1964) en West en Dunn (1971) geen verhoogde kans op ongevallen bij een negatieve afwijking van de gemiddelde snelheid t.o.v. het overige verkeer (zie bijvoorbeeld: Kloeden et al. (2001)).

Ondanks het feit dat zowel het Powermodel als de asymptotische functies de data goed passen, prefereren Elvik et al. (2004) dan het Powermodel, omdat dit een eenvoudiger model is. Concluderend kan worden gesteld dat we anno 2011 dezelfde conclusies moeten trekken als Aarts in

2004 al deed. Het type relatie is hoogstwaarschijnlijk exponentieel, de exacte relatie is onbekend. Uit de literatuur komen de relaties van Kloeden et al. (1997, 2001), Nilsson (1982, 2004) en Elvik et al (2004) dan ook naar voren als de meest waarschijnlijke.

Tabel 3 Overzicht van studies naar de effecten van snelheidsverandering op ongevallen

#	Auteur	Jaar	Type relatie	Type data (politie, zelf gerapporteerd, metingen)	Gebruikte snelheidsdefinitie	Gevalideerd	Type snelheidslimiet waar de studie betrekking op heeft)	Land
1	Nilsson	1982, 2004	Exponentieel	Politie geregistreerde ongevallen	Snelheid waarmee de meeste auto's reden na de verandering van snelheidslimiet	(voor lagere snelheden problemen met validiteit voor omgevingen met lage snelheid) ¹	Snelwegen (110km/u -> 90km/u)	Zweden
2	Elvik et al.	2004	Exponentieel	Meta-data uit 20 landen (98 bronnen/ studies)	Gemiddelde snelheid	25km/u – 120km/u	Geen differentiatie naar wegtype	Zweden
3	Joksch	1993,1994	Exponentieel	Data analyse van de Nationale Ongevulsdatabase (NCSS) uit de U.S.	Absolute snelheid (snelheidsverandering in ongeval)	0- ongeveer 110km/u	Geen differentiatie naar weg type	USA
4	Fildes	1991,1993	Exponentieel	Metingen en interviews	V85 (en V15) Vrije rijnsnelheid	60-100 Km/u	Urban (60km/u) en rural (100km/u)	Wales
5	Baruya	1998	Exponentieel	Data uit enkele EU lidstaten (ook NL)	Absolute snelheid	50-110 Km/u	70-110km/u	EU (Zweden, GB, Portugal en NL)
6	Kloeden	1997, 2001, 2002	Exponentieel	politie geregistreerde ongevallen	Afwijking van de individuele voertuig snelheid t.o.v. de gemiddelde vrije rijnsnelheid	2001: 80-110 km/u met een afwijking van-10 tot +30km/u	1997: 60Km/u 2001 Rurale omgeving (80 km/u – 100km/u) 2002:60-80Km/u	Australië/ zuid Australië
9	Solomon ²	1964	U vormig	politie geregistreerde ongevallen (en een werkelijk gemeten controle groep)	Afwijking in snelheid t.o.v de modus (snelheid waarmee meeste voertuigen rijden)	/	Ongeveer 70-110 km/u	USA
10	Finch et al ² .	1994	Lineair / Asymptotisch	Meta-data	Verandering in gemiddelde snelheid	/	/	Denemarken, Finland, USA, Zweden, Duitsland en Zwitserland
11	Taylor et al.	2000	Exponentieel	Metingen en interviews	Gemiddeldesnelheid	/	Alle wegtypen	UK

¹ zie Cameron en Elvik (2010)
² Originele bron niet geraadpleegd, beschrijving o.a. op basis van Aarts (2004) en Fildes et al. (1993)
/ onbekend

4.2 Het Powermodel van Nilsson

Het Powermodel van Nilsson beschrijft de relatie tussen snelheid en ongevallen in termen van 6 formules (Power Functions). Het model heet het Powermodel, omdat het gebruik maakt van machtsfuncties, een bepaalde variabele wordt tot een bepaalde macht verheven. Ondanks dat we het Powermodel hier bespreken onder “exponentiële verbanden” (zoals Elvik et al. (2004, 2009) en Aarts (2004)), is het belangrijk te beseffen dat een exponentiële formule iets anders is (hierbij wordt namelijk een vaste waarde (e) tot een macht verheven (Elvik et al. 2004, pp i).

Figuur 1 toont de 6 formules van Nilsson, waarbij V de snelheid is, Y de ongelukken, Z het aantal slachtoffers. Het indexgetal 0 geeft aan dat het de situatie voor de wijziging betreft, het indexgetal 1 geeft aan dat het gaat om de situatie na de wijziging.

Accidents (y)	Injured (z)
<p>Fatal accident</p> $y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0$	<p>Fatalities</p> $z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^8 (z_0 - y_0)$
<p>Fatal accidents and serious injury accidents</p> $y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0$	<p>Fatalities and severely injured</p> $z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^6 (z_0 - y_0)$
<p>All injury accidents</p> $y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0$	<p>All injured (incl. fatalities)</p> $z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 (z_0 - y_0)$

Figuur 1. De 6 Power Functions van Nilsson (Bron: Nilsson, 2004)

Zoals te zien in tabel 4a, vertonen de exponenten zoals gedefinieerd door Nilsson (2004) overlap (zo zou bij alle ongevallen ongeacht ongevalsernst een exponent 2 gebruikt moeten worden en bij ongevallen met een fatale afloop 4). Elvik et al. (2009) stellen op basis van een grotere dataset de exponenten zoals in Tabel 4b.

Tabel 4a Overzicht van de verschillende exponenten die Nilsson gebruikt voor de Power Functions

Accident or injury severity	Nilsson (2004)
	Exponent
Fatalities	4-8
Seriously injured road user	3-6
Slightly injured road user	--
All injured road users (severity not stated)	2-4
Fatal accidents	4
Serious injury accidents	3
Slight injury accidents	--
All injury accidents (severity not stated)	2
Property-damage-only accidents	--
-- geen expliciete informatie	

Tabel 4b Overzicht van de verschillende exponenten die Elvik gebruikt voor de Power Functions¹

Accident or injury severity	Elvik et al. (2009)	
	Exponent	Range (95% BI*)
Fatalities	4.3	(3.7– 4.9)
Seriously injured road user	3.0	(2.0 – 4.0)
Slightly injured road user	1.3	(1.1 – 1.5)
All injured road users (severity not stated)	2.0	(1.6– 2.4)
Fatal accidents	3.5	(2.4 – 4.6)
Serious injury accidents	2.0	(1.4 – 2.6)
Slight injury accidents	1.0	(0.7– 1.3)
All injury accidents (severity not stated)	1.5	(1.2 – 1.8)
Property-damage-only accidents	1.0	(0.5 – 1.5)
* BI= Betrouwbaarheidsinterval		
-- geen expliciete informatie		

Wat betekent dit nu voor de snelheidslimiet verandering in Nederland? Een rekenvoorbeeld: Als we ervan uitgaan dat een snelheidslimietwijziging van 100 naar 130km/u correspondeert met een even grote verandering in daadwerkelijk gereden snelheid (dus +30km/u), en we gaan ervan uit dat het model valide is voor 100-130km/u, dan zou dat betekenen dat (met gebruik van de exponenten en formules zoals gegeven door Nilsson voor dodelijke ongevallen: $Y_1 = (V_1/V_0)^4 * Y_0$), er 2,9 keer zoveel dodelijk ongevallen plaats zullen vinden als voorafgaand aan de wijziging. Immers $(130/100)^4 = (1,3)^4 =$

¹ Exponenten ge-update in September 2011 (het betreft hier de exponenten voor "all roads")

2,86. Gebruiken we de exponenten van Elvik et al (2004), en dezelfde aannames², dan komt het overeen met 3,2 maal zo veel ongelukken als voor de wijziging.

4.3 De exponentiële functies van Kloeden et al.

In 1997 publiceerden Kloeden et al. de resultaten van een onderzoek naar het effect van rijsnelheid op het risico om bij een ongeval betrokken te raken. Kloeden et al. proberen hierbij zoveel mogelijk effecten anders dan snelheid buiten beschouwing te laten. Ze doen dit door gebruik te maken van vrije rijsnelheid. De gebruikte onderzoeksmethode is een zogenaamde 'case-control' studie. Hierbij vergelijken ze de vrije rijsnelheid van een auto die betrokken was bij een ongeval met de vrije rijsnelheden van auto's die in dezelfde richting rijden en niet betrokken waren bij een ongeval. Hier komt al de eerste moeilijkheid om de hoek kijken: de vrije rijsnelheden van auto's die niet betrokken zijn bij een ongeval worden bepaald middels een lasergun, terwijl het bepalen van de snelheid van een reeds gecrashte auto veel moeilijker is. De snelheid voorafgaand aan de crash is bepaald met gespecialiseerde computersimulatiemodellen. Een groot verschil tussen Nilsson en Kloeden et al. is dat Kloeden et al. het risico om betrokken te raken bij een ongeval weergeven aan de hand van afwijking van de vrije rijsnelheid.

Van de drie genoemde studies van Kloeden et al. is eigenlijk alleen de studie uit 2001 relevant voor de wijziging van de limiet in Nederland. Dit omdat de andere studies 60-80km/u zones betreffen en de studie uit 2001 in gaat op 80-110km/u. In de rapportage van 2001 komen Kloeden et al. tot de volgende relatie tussen snelheid en relatief ongevalsrisico:

$$R(\text{snelheidsverschil}) = e^{(0.07039v + 0.0008617v^2)}$$

Waar:

R (snelheidsverschil)= Het relatieve risico om bij een ongeval betrokken te zijn

V = Het snelheidsverschil met de rest van het verkeer (vrije rijsnelheid)

Het model van Kloeden et al. (2001) is gevalideerd voor snelheidsverschillen van -10 tot +30km/u.

² Let op, in het rekenvoorbeeld worden nog de exponenten uit 2004 gebruikt en niet de ge-update exponenten uit 2009.

5 Bruikbaarheid van beschikbare algoritmen

DVS is geïnteresseerd in de toepasbaarheid van de verschillende relaties voor de specifieke Nederlandse situatie (uitbreiding van de snelheidslimiet van 100 naar 130 km/u en van 120 naar 130 km/u), het gaat hier om bestaande snelwegen in Nederland. De toepasbaarheid heeft betrekking op o.a.:

- De geografische locatie (Is het land waar de studie is uitgevoerd te vergelijken met Nederland).
- Type weg (in hoeverre gaat het hier om vergelijkbare wegen als waarop in Nederland de 130 km/u ingevoerd gaat worden).
- Snelheidslimiet (in hoeverre kan er op basis van de gegevens die gebruikt zijn in de beschikbare studies iets gezegd worden over de effecten op snelheidsveranderingen boven de 100 en 120km/u?)
- Leeftijd van het onderzoek (het wagenpark is veel veranderd sinds het begin van de studies; wat is het effect op de validiteit van de studie?).

Zoals al eerder uit deze studie naar voren is gekomen, kan er het beste gebruik gemaakt worden van de Power Functions van Nilsson (al dan niet met de exponenten zoals gegeven door Elvik et al. (2004)). Een andere mogelijkheid is het gebruik van de relaties van Kloeden et al. (1997, 2001). We zullen hieronder de toepasbaarheid van de Power Functions van Nilsson en de functie van Kloeden et al. kort bespreken.

Op grond van de huidige stand van de kennis, is het te verwachten dat de relaties zoals beschreven door Nilsson en Elvik toepasbaar zijn op Nederland. Vrij recent hebben Cameron en Elvik (2010) gekeken naar de toepasbaarheid van de Power Functions van Nilsson en zij concluderen het model bevredigend is voor rurale wegen en snelwegen (voor stadsomgevingen is het model minder geschikt). Elvik geeft aan dat de Power Functions gevalideerd zijn in de range van 25-120 km/u. Voor de effecten van 120-130 km/u is dus geen validatieslag gemaakt. Voor zijn proefschrift deed Nilsson overigens verschillende experimenten, waaronder een experiment met een snelheidsverlaging van 130 naar 110 km/u. Dit resulteerde in -16,6% minder ongelukken met gewonden en -12,5% minder dodelijke ongevallen.

Het onderzoek van Kloeden et al. richtte zich in 1997 op een 60km/u zone. In 2001 is de studie uitgebreid naar wegen met andere snelheidslimieten van boven de 80 km/u (tot 110km/u) en in 2002 is op basis van een heranalyse een schatting gemaakt van de relatie voor 60-80km/u. De vraag is in welke mate resultaten uit Zuid-Australië voor dit type wegen ook toepasbaar zijn in Nederland.

In elk geval gebruiken Kloeden et al. (1997, 2001 en 2002) “free traveling speed” – vrije rijnsnelheden - om zo veel mogelijk niet-snelheid gerelateerde factoren buiten beschouwing te laten. Voor de in Nederland voorgestelde wijzigingen is eigenlijk alleen de rapportage van Kloeden et al. uit 2001 interessant. Deze rapportage gaat in op wegen met snelheidslimieten van 80-110 km/u in een rurale omgeving. Het gebruik van de resultaten van Kloeden et al. (2001) voor de effecten van een snelheidslimiet verandering in Nederland kent twee problemen. Allereerst zijn de resultaten gebaseerd op onderzoek op wegen met een snelheidslimiet tot 110 km/u. De vraag is in hoeverre deze resultaten gegeneraliseerd kunnen worden naar wegen met hogere snelheidslimieten (het gaat immers in Nederland om 100-130 km/u). Daarnaast gaat het om resultaten uit Australië, wat vragen oproept omtrent de vergelijkbaarheid van de situaties tussen Australië en Nederland. Deze zijn moeilijk te beantwoorden, ondanks het feit dat Kloeden et al. (2001) zich proberen te beperken tot effecten die alleen te maken hebben met snelheid. Een tweede wat praktischer probleem is dat Kloeden et al. het relatieve risico op individueel niveau uitdrukken. Dit betekent dat op basis van de formule van Kloeden et al. (2001) berekend kan worden hoeveel meer risico een individueel voertuig heeft om betrokken te raken bij een ongeval, gegeven de afwijking t.o.v. de gemiddelde vrije rijnsnelheid. Dit is natuurlijk veel complexer om te modelleren als het gaat om de oude en nieuwe situatie.

6 Conclusies & Aanbevelingen

In 2004 is er door Aarts (SWOV) een uitgebreid rapport verschenen waarin de verschillende relaties tussen snelheid en kans om betrokken te raken bij een ongeval besproken worden. Samen met de publicaties van Elvik et al. (2004; 2009) en Nilsson (2004) kan dit rapport kan gezien worden als “state of the art”. Het bevat achtergrondinformatie over alle onderzoeksmethoden van de relevante studies die een beschrijving geven van de relatie tussen snelheid(verandering) en de kans op ongevallen.

Er is uit de literatuurstudie geen studie naar voren gekomen van voor 2004, die een toevoeging zou zijn op de meegenomen studies in de meta-analyse van Aarts (2004). Hetzelfde geldt ook voor de studies van na 2004 (met uitzondering van het werk van Elvik (2004)). Ongeveer gelijktijdig met het rapport van Aarts verschenen in 2004 het proefschrift van Nilsson (2004) en de meta-data analyse van Elvik (2004). Elvik et al. toonden op basis van de internationale data sets (meta-data analyse) aan dat het Powermodel van Nilsson de data het beste past.

Op basis van de literatuur moeten we concluderen dat het geen twijfel leidt dat het verhogen van de snelheidslimiet gepaard gaat met een vergrote kans op ongevallen en op ernstigere ongevallen. Er is echter nog aanzienlijke onzekerheid over de precieze representatie (al wordt hier exponentieel als meest accuraat verondersteld voor individuele voertuigsnelheid) en de precieze kwantificatie van het effect. De Power Functions van Nilsson zijn op dit moment het beste wat voorhanden is. Het verdient op basis van de geraadpleegde literatuur dan ook de aanbeveling om deze Power Functions, Nilsson (2004) – al dan niet met de exponenten van Elvik (2009) – te gebruiken voor het berekenen van de effecten in de specifieke situaties in Nederland die geëvalueerd dienen te worden. Hierbij moet wel opgemerkt worden, dat de validiteit van het model voor snelheden boven de 120 km/u niet aangetoond is.

Aandachtspunten die uit de literatuur naar voren komen:

- In bijna alle literatuur wordt verondersteld dat de verandering die ontstaat door een snelheidsverlaging, omgekeerd evenredig is aan de verandering die ontstaat door een snelheidsverhoging (omgekeerde causaliteit). Bijvoorbeeld: in het geval van het experiment van Nilsson (2004) werd er een limiet verlaagd van 130 naar 110 km/u wat resulteerde in 16.6% minder ongelukken met gewonden en 12,5% minder dodelijke ongevallen. In het geval van omgekeerde causaliteit neemt men dan aan dat er bij een verhoging van 110 naar 130 km/u, 16.6% meer ongelukken met gewonden en 12,5% meer dodelijke ongevallen zullen

gebeuren. Of deze aanname zondermeer gemaakt mag worden is niet verder niet onderzocht.

- Spill-over effecten: de onderzoeken uit verschillende landen laten zien dat er duidelijke spill-over effecten zijn naar andere wegtypen (Wagenaar; 1990, Barach et al. 1995)). Dit betekent dat bestuurders geneigd zijn de snelheid op andere wegen, die minder geschikt zijn voor hogere snelheden, ook te vergroten). Ook veranderde handhavingspatronen en routekeuze factoren kunnen daarbij een rol spelen. Een aanwijzing dat dit voor Nederland ook zou kunnen gelden blijkt uit het rapport van Rijkswaterstaat (1989) waarin staat dat positieve spill-over effecten op de verkeersveiligheid werden waargenomen na invoering van het nieuwe snelheidslimietensysteem in 1988. Indien ook hier de omgekeerde causaliteit verondersteld wordt (dat doet men bij de relatie tussen snelheid en ongevallen ook), zou het verhogen van de snelheid negatieve effecten kunnen hebben op andere (niet-snel)wegen.
- Niet alleen de absolute snelheid is een belangrijke factor als het gaat om ongevalsrisico en snelheid. Ook wegkarakteristieken, verkeersintensiteit, de variantie in de snelheid, etc. (zie ook SWOV(2009)), zouden bij het berekenen van de effecten meegenomen moeten worden in de analyse).
- Effecten van snelheidslimietveranderingen veranderen in de tijd (Aarts 2004 op basis van Roszbach en Blokpoel (1989) maar zie ook Rijkswaterstaat (1989)). Bij voorgaande veranderingen liet onderzoek zien dat men na verloop van tijd het oude gedrag weer aannam. Zo beschrijft het rapport van Roszbach en Blokpoel (1991) dat de automobilisten na de snelheidslimiet verhoging van 100 naar 120 km/u in Nederland, langzamer gingen rijden (voorheen werd er veel te hard gereden). Dit effect was een jaar na de invoering nog maar marginaal aanwezig.
- Het ex-ante inschatten van de effecten is iets anders dan het ex-post vaststellen van het daadwerkelijke effect. Onderzoeken uit het verleden (bijvoorbeeld uit de V.S.), laten zien dat de werkelijke effecten van een snelheidsverandering niet altijd statistisch significant of eenduidig te krijgen zijn. Ook is moeilijk te duiden welke effecten er nu door de verandering in snelheidslimiet optreden en welke effecten er door tweede-orde effecten ontstaan (bijvoorbeeld: gewijzigde route keuze, ander handhavingsbeleid, nieuw ontstane snelheidsvarianties, andere relevante verkeersgedragingen zoals volgfstanden of inhalen, etc.). Over het algemeen wordt aangenomen dat de snelheidslimietverandering zal leiden tot een hogere gereden snelheid en meer (dodelijke) ongevallen. Dat de snelheidslimiet omhoog gaat wil echter niet zeggen dat het absolute aantal verkeersslachtoffers in Nederland ook omhoog zal gaan (omdat er bijvoorbeeld ook sprake is van een dalende trend) De snelheidslimietverandering van 1988 (100-120km/u) liet zien dat werkelijke rijnsnelheden

in eerste instantie omlaag gingen (voor die tijd werd er veel te hard gereden). Dit correspondeerde dan weer wel met een positief effect op de verkeersveiligheid. Ook liet deze studie zien dat de effecten moeilijk statistisch significant te krijgen zijn; dit is vergelijkbaar met de veranderingen zoals ze nu voorgesteld zijn (veranderingen op relatief kleine stukjes weg, etc.).

- Tot slot is het zo dat de effecten sterk van land – tot land kunnen verschillen. Zoals Aarts (2004) aangeeft heeft het ene land veel meer ruimte voor verbetering van de verkeersveiligheid dan het andere. Dit kan leiden tot onderlinge verschillen in het effect.

Om op een correcte wijze om te gaan met de onzekerheden rond het berekenen van de effecten verdient het aanbeveling om de onzekerheden helder en juist te communiceren (zie voor aanwijzingen bijvoorbeeld: RIVM (2007)). Zo laat onderzoek zien dat het niet mogelijk is en zelfs onwenselijk is om een puntschatting te geven van de verkeersveiligheidseffecten, het communiceren van een bandbreedte is dan ook belangrijk. Gezien de mate van onzekerheid is het belangrijk een gevoeligheidsanalyse uit te voeren (zie ook Satelli et al., 2000). Een uitermate geschikte methode om dit te doen is Exploratory Modelling (Agusdinata, 2008; Van der Pas et al., 2010). Exploratory Modelling stelt de evaluerende partij in staat niet alleen de effecten van verschillende implementatiescenario's door te rekenen, maar ook verschillende modellen te gebruiken (zowel Nilsson (2004) als Elvik et al. (2009), als Kloeden et al. (2001)), verschillende aannames omtrent de tweede orde effecten en rebound effecten (bijvoorbeeld: het effect dat bestuurders na verloop van tijd weer terug gaan naar hun gedrag van voor de limietwijziging) mee te nemen en om, indien nodig, de weging van de uitkomsten te variëren.

Referenties

- Aarts, L.T. (2004) Snelheid, spreiding in snelheid en de kans op verkeersongevallen. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), R-2004-9, Leidschendam.
- Aarts, L.T, Van Schagen, I.N.L.G. (2006) Driving Speed and the risk of road crashes; A review. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, No. 2, pp. 215-224.
- Agusdinata, D.B. (2008) Exploratory Modelling and analysis: a promising method to deal with deep uncertainty. PhD Thesis, Delft University of Technology.
- Baruya, A. (1998) Speed-Accident relationships on European Roads, UK.
- Baum, H.M., Lund, A.K., Wells, J.K. (1989) The mortality consequences of raising the speed limit to 65 mph on rural interstates *American Journal of Public Health*, Vol. 79, No. 10 pp. 1392-1395.
- Baum, H.M., Wells, J.K., Lund, A.K. (1991). The Fatality Consequences of the 65 mph Speed Limits, 1989. *Journal of Safety Research*, Vol. 22, pp. 171-177.
- Cameron, M.H., Elvik, R. (2010) Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention*, No. 42, pp. 1908-1915.
- Chang, G. L., Paniati, F. (1990) Effects of 65-mph speed limit on traffic safety. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 116, pp. 213-226.
- Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A. (2004) Speed and Accidents- An Evaluation of the Power Model. TOI report 740/2004. ISBN: 82-480-0451-1.
- Elvik, R. (2009) The Powermodel of the Relationship Between Speed and Road Safety: Update and New Analyses, TOI Report 1034/2009, ISBN: 978-82-480-1001-2.
- Farmer, C.M., Retting, R.A., Lund, A.K. (1999) Changes in motor vehicle occupant fatalities after repeal of the national maximum speed limit. *Accident Analysis and Prevention*, No. 31 pp. 537-543.
- Fildes, B.N., Lee, S. (1993) The Speed Review: Road Environment, Behaviour, Speed Limits, Enforcement and Crashes, Monash University Accident Research Centre. ISBN: 0 642 51332 5
- Filders, B.N., Rumbold, G., Leening, A. (1991) Speed behavior and Drivers' Attitude to Speeding, Report No. 16, Monash University Accident Research Centre.
- Friedman, L.S., Barach, P., Richter, E.D. (2007) Raised speed limits, case fatality and road deaths: a six year follow-up using ARIMA models. *Injury Prevention*, No.13, pp 156-161.
- Goldenbeld, C., Bijleveld, F.D., De Craen, S. Bos, N.M. (2003) Effectiviteit van snelheidstoezicht en bijbehorende publiciteit in Fryslan. R-2003-27. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), Leidschendam.
- Joksch, H.C. (1993) Velocity Change and Fatality Risk in a Crash – a Rule of Thumb. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 25, No. 1, pp. 103-104.

Kloeden, C.N., Mc Lean, A.J., Moore, V.M., Ponte, G. (1997) Travelling Speed and the Risk of Crash involvement – Volume 1- Findings. NHMRC Road Accident Research Unit. University of Adelaide.

Kloeden, C.N., Ponte, G., Mc Lean, A.J. (2001) Travelling Speed and the Risk of Crash involvement on rural roads. Report No. CR 204, NHMRC Road Accident Research Unit. University of Adelaide. ISBN: 0 642 25568 7.

Kloeden, C.N., Mc Lean, A.J., Glonek, G. (2002) Reanalysis of Travelling Speed and the Risk of Crash involvement in Adelaide South Australia. Report No. CR 207. NHMRC Road Accident Research Unit. University of Adelaide. ISBN: 0 642 25586 5.

Kockelman, S. (2006) Safety Impacts and Other Implications of Raised Speed Limits on High-Speed Roads - Final Report. NCHRP Web-Only Document 90 (Project 17-23).

Lave, C., Elias, P. (1994) DID THE 65 MPH SPEED LIMIT SAVE LIVES? Accident Analysis and Prevention, Vol. 24, No. 1, pp. 49-62.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1989) Evaluatie Snelheidslimieten – 1 jaar na invoering van het nieuwe limieten stelsel op autosnelwegen, Rotterdam.

Nilsson, G. (1982) The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic accidents and transport energy use. 6-8 Oktober 1981, Dublin. Organisation for Economic Co-operation and Development OECD. Paris, p. 1-8. (referentie overgenomen uit Aarts(2004))

Nilsson, G. (2004) Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the effect of Speed on Safety, Lund Institute of Technology and Society, Traffic Engineering. PhD-Thesis - Bullitin 221, ISSN: 1404-272X.

Oei, H.L., Polak, P.H. (1992) Effect van automatische waarschuwing en toezicht op snelheid en ongevallen. R-92-23. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), Leidschendam.

Ossiander, E.M., Cummings, P. (2002) Freeway speed limits and traffic fatalities in Washington State. Accident Analysis and Prevention No. 34 pp.13–18.

Reiff, L.K., Foldager, I., Hels, T., Hemdorff, S., Lund, H. (2008) 130 km/t på motorveje (vertaald: 130km/u op autosnelwegen), DTU Transport, ISBN: 978-87-7060-078-1.

RIVM (2007) Eindverslag van de conferentie Omgaan met onzekerheid in beleid, 16 en 17 mei 2006, Den Haag. ISBN: ISBN-10: 90-6960-164-8

Rock, S.M. (1995) Impact of the 65 mph speed limit on accidents, deaths, and injuries in Illinois, Accident Analysis and Prevention, Vol. 27, No. 2, pp. 207-214.

Roszbach, R. Blokpoel, A. (1991) Veilicheidseffecten van de invoering van 100- en 120- km/uur snelheids-limieten op autosnelwegen. – vervolg van de evaluatie studie. R-91-95.

Roszbach, B. (1990) Safety on motorways. Third European Workshop on Recent Developments in Road Safety Research April 26-27, 1990. VTI rapport nr 366A. Väg- och Trafikinstitutet, Linköping.

Saltelli, A., Chan, K. Scott, E.M. (2000) Sensitivity Analysis, John Wiley, New York, ISBN:0-471-998992-1.

Sidhu, C. S. (1990) Preliminary assessment of the increased speed limit on rural interstate highways in Illinois. *Transportation Research Record*, 1281, pp. 78-83.

Solomon D. (1964) Accidents on main rural highways related to speed driver and vehicle. Bureau of Public roads, U.S. Department of Commerce, Washington.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) (2009) SWOV FACTSHEET -The relation between speed and crashes. Leidschendam.

Taylor, M.C., Lynam, D.A., Baruya, A. (2000) the effects of drivers' speed on the frequency of road accidents. TRL, Report 421, ISSN: 096-4107.

Van der Pas, J.W.G.M., Marchau, V.A.W.J. Walker, W.E. Van Wee, B., Agusdinata D.B. (2010) Exploratory MCDA for Handling Deep Uncertainties: The case of Intelligent Speed Adaptation Implementation. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* Vol. 17, No. (1-2), pp. 1-23.

Wagenaar, A. C., Streff, F. M., Schultz, R. H. (1990) Effects of the 65 mph speed limit on injury morbidity and mortality. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 22, pp. 571-585.

West, L. B., Dunn. J.W. (1971) Accidents, Speed Deviation and Speed Limits. *Traffic Engineering*, No. July, pp. 52-55.