



Nationaal verkeerskundecongres 2018
31 oktober en 1 november, 's-Hertogenbosch

Nationaal verkeerskundecongres 2018

Spookrijden: nieuwe technologie als maatregel

Presentatiepaper

Martijn Machielsen
(TU Delft)

Henk Taale
(Rijkswaterstaat & TU Delft)

Samenvatting

De bestaande literatuur over spookrijden geeft een volledig en consistent beeld van de oorzaken en aanleidingen van spookrijden, namelijk het kiezen van de afrit in plaats van de toerit naar de autosnelweg, ouderdom bij de bestuurder, moment op de dag, in het bijzonder avond- en nacht, en het gebruik van alcohol en/of drugs door de bestuurder. De data ondersteunt dat het moment op de dag belangrijk is, alsook de trend dat spookrijden vaker voorkomt in het weekend dan werkdagen. Wat betreft maatregelen zijn wegmarkeringen, bebording en algemeen wegontwerp en -beeld veelgenoemde maatregelen. Intelligente maatregelen worden nog niet veel genoemd en daarom is in dit paper getracht dergelijke maatregelen te identificeren en te beoordelen op basis van expert judgement. De conclusie daarvan is dat, gegeven de set van criteria en alternatieven, de checklist voor wegontwerp en -beeld het beste alternatief is. Verbetering van GPS/navigatiesystemen en verkeersbordherkenningssystemen zijn meer intelligente ITS toepassingen die eveneens goed scoren.

Trefwoorden

spookrijden, verkeersveiligheid, C-ITS, wegakantsystemen, in-carsystemen

Inleiding

De opkomst van steeds intelligentere technologieën in het verkeerssysteem biedt allerlei kansen. Zo ook waar het gaat om spookrijden. Spookrijden wordt hier gedefinieerd als een voertuig dat op een rijstrook of rijbaan tegen de geldende rijrichting in rijdt. Op autosnelwegen betekent dit dat een voertuig op de verkeerde rijbaan tegen het verkeer in rijdt. Spookrijden krijgt in de media veel aandacht vanwege de gevolgen, die als er een ongeval gebeurt vaak groot zijn. Hoewel in het verleden al verschillende maatregelen zijn toegepast om spookrijden tegen te gaan, komt het nog steeds voor. De vraag is of naast de traditionele maatregelen de intelligente technologieën, die steeds meer een plaats krijgen in het verkeerssysteem, uitkomst kunnen bieden.

Dit paper verkent de potentie van Intelligente Transport Systeem (ITS) technologieën en maatregelen om spookrijden te voorkomen en de gevolgen ervan te beperken. Daarvoor wordt eerst inzicht gegeven in de oorzaken en trends wat betreft spookrijden in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van beschikbare data over spookrijmeldingen, ongevallen en slachtoffers (ziekenhuisgewonden en doden), internationale data en literatuur, zowel uit Nederland als internationaal. Ook wordt een overzicht gegeven van de reeds toegepast of mogelijk nieuwe maatregelen. Daarna worden veelbelovende ITS technologieën en maatregelen beoordeeld op effectiviteit, toepasbaarheid en kostenefficiëntie. Dit met behulp van een MCA (Multi-Criteria Analyse) op basis van de subjectieve beoordeling van verschillende experts.

Spookrijden als fenomeen

Cijfers uit binnen- en buitenland

In zowel de literatuur als de praktijk wordt spookrijden doorgaans als een bijzonder fenomeen beschouwd daar het relatief zelden voorkomt. Echter, de gevolgen van spookrijden zijn zeer ernstig: ongevallen als gevolg van spookrijden zijn aanzienlijk ernstiger dan andere soorten ongevallen, hetgeen hoofdzakelijk te wijten is aan het feit dat het meestal frontale aanrijdingen zijn, met bovendien (zeer) hoge (relatieve) snelheden. De ernst van dit type ongevallen is beschreven door Blokpoel & De Niet in 2000. Zij stelden vast dat in de periode 1991-1997 ongeveer 0,1% van alle ongevallen het resultaat was van spookrijden, maar dat spookrij-ongevallen de oorzaak zijn van 2,6% van alle verkeersdoden in die periode – op autosnelwegen liep dit zelfs op tot 3,7%. Internationaal zijn vergelijkbare resultaten en conclusies te vinden (Lin, Ozkul, Guo, & Chen, 2018; Kemel, 2015; Lathrop, Dick, & Nolte, 2010; Ponnaluri, 2016b; Sétra, 2008; Scaramuzza & Cavegn, 2007; Sørensen, Høye, Elvik, & Vaa, 2016; Zhou et al, 2012).

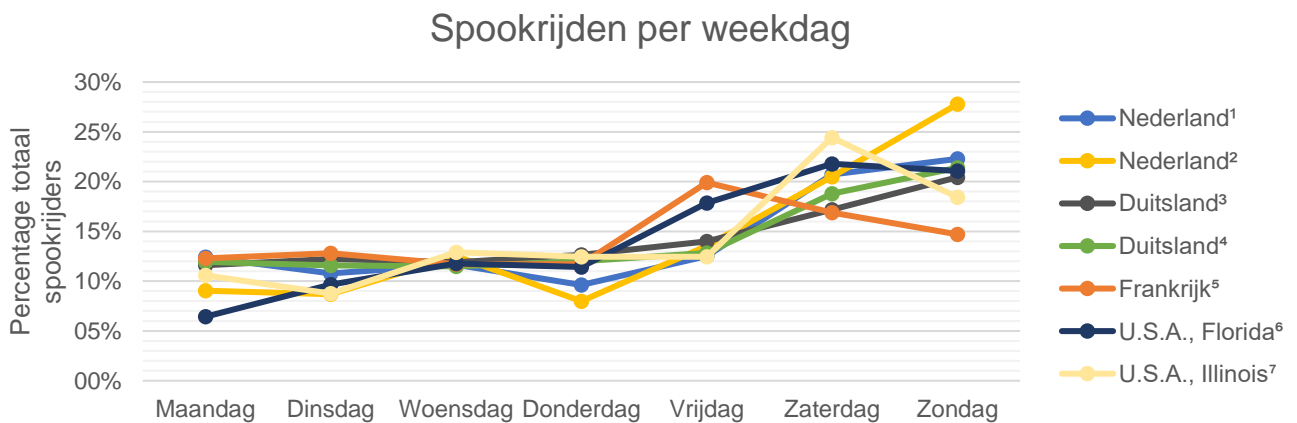
In Nederland zijn verschillende parallele databases waarin gegevens over spookrijden te vinden zijn. De databases bevatten verschillende informatie: de ene database heeft gegevens over spookrij-ongevallen, terwijl de andere databases gegevens bevatten over alle spookrij-incidenten, inclusief de incidenten die niet geleid hebben tot een ongeval. Over het algemeen verschilt de hoeveelheid spookrijders per database, met name wat betreft de spookrij-incidenten, waar een factor 2 tot 3 verschil in zit. Hoewel de kwaliteit van deze databases suboptimaal is vanwege meerdere potentiële foutieve en/of dubbele meldingen, zijn de databases goed genoeg om enkele algemene trends af te leiden, bijvoorbeeld qua regio en tijd (Machielsen, 2018).

Kijkend naar de verdeling van spookrij-incidenten en -ongevallen over de tijd en provincies, dan zijn de volgende trends te zien:

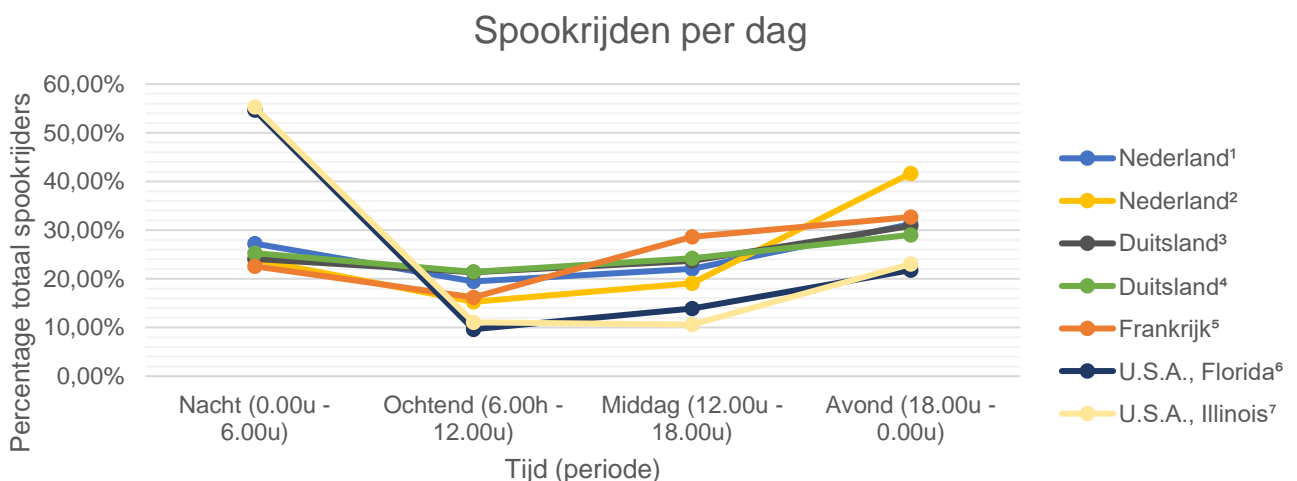
- Over de afgelopen jaren is een lichte groei in het aantal spookrij-incidenten en -ongevallen zichtbaar in Nederland. Echter, deze groei hoeft niet te betekenen dat spookrijden daadwerkelijk een groeiend probleem is, aangezien de groei ook verklaard kan worden door een betere registratie van spookrijders (Machielsen, 2018). Internationale data laat bovendien een vergelijkbare trend zien over de laatste tien jaar (ADAC, 2017; Gerlach & Seipel, 2012; RWS, 2018; Vejdirektoratet, 2018; VID, 2017);
- De verdeling over de maanden laat geen duidelijke trend zien, uitgaande van de Nederlandse situatie. Met andere woorden, er lijkt geen maand of seizoen te zijn waarin spookrijden vaker voorkomt. Hoewel in sommige jaren meer spookrij-incidenten lijken plaats te vinden in de winter,

gaat dit niet op voor ieder jaar – sommige jaren laten juist pieken in de zomer zien (Cognos SWOV, n.d.; RWS, 2018; VID, 2017);

- De verdeling over de dagen van de week laat daarentegen wel een duidelijke trend zien, zowel in binnen- als buitenland: in de weekenden komen vaker spookrij-incidenten en -ongevallen voor dan werkdagen, zie figuur 1 (ADAC, 2017; FDOT, 2015; Gerlach & Seipel, 2012; Kemel, 2015; RWS, 2018; VID, 2017; Zhou, et al., 2012);
- Per dag is eveneens een duidelijke trend te zien, namelijk dat het merendeel van de spookrij-incidenten en -ongevallen plaats vinden in de avond en nacht (van 18.00u tot 6.00u). Dit geldt wederom voor Nederlandse en internationale data, zie figuur 2 (ADAC, 2017; Blokpoel, Braimaiser, & Tromp, 1998; Finley, et al., 2014; FDOT, 2015; Gerlach & Seipel, 2012; Kemel, 2015; Pour-Rouholamin & Zhou, 2016; RWS, 2018; VID, 2017; Zhou, et al., 2012);
- In absolute aantallen gebeuren de meeste spookrij-incidenten, -ongevallen en -doden in Noord-Brabant. Echter, het is de kort door de bocht om te stellen dat Noord-Brabant daarmee een groter risico heeft op spookrijders, want gemeten in aantal spookrijders per 100 kilometer autosnelweg per provincie hebben provincies zoals Zeeland, Noord-Holland en Limburg de meeste spookrij-incidenten, -ongevallen en/of -doden (Cognos SWOV, n.d.; RWS, 2018; VID, 2017).



Figuur 1: Verdeling van spookrij-incidenten en -ongevallen per weekdag in internationaal perspectief.



Figuur 2: Verdeling van spookrij-incidenten en -ongevallen per dag in internationaal perspectief.

Oorzaken, aanleidingen en maatregelen in de literatuur

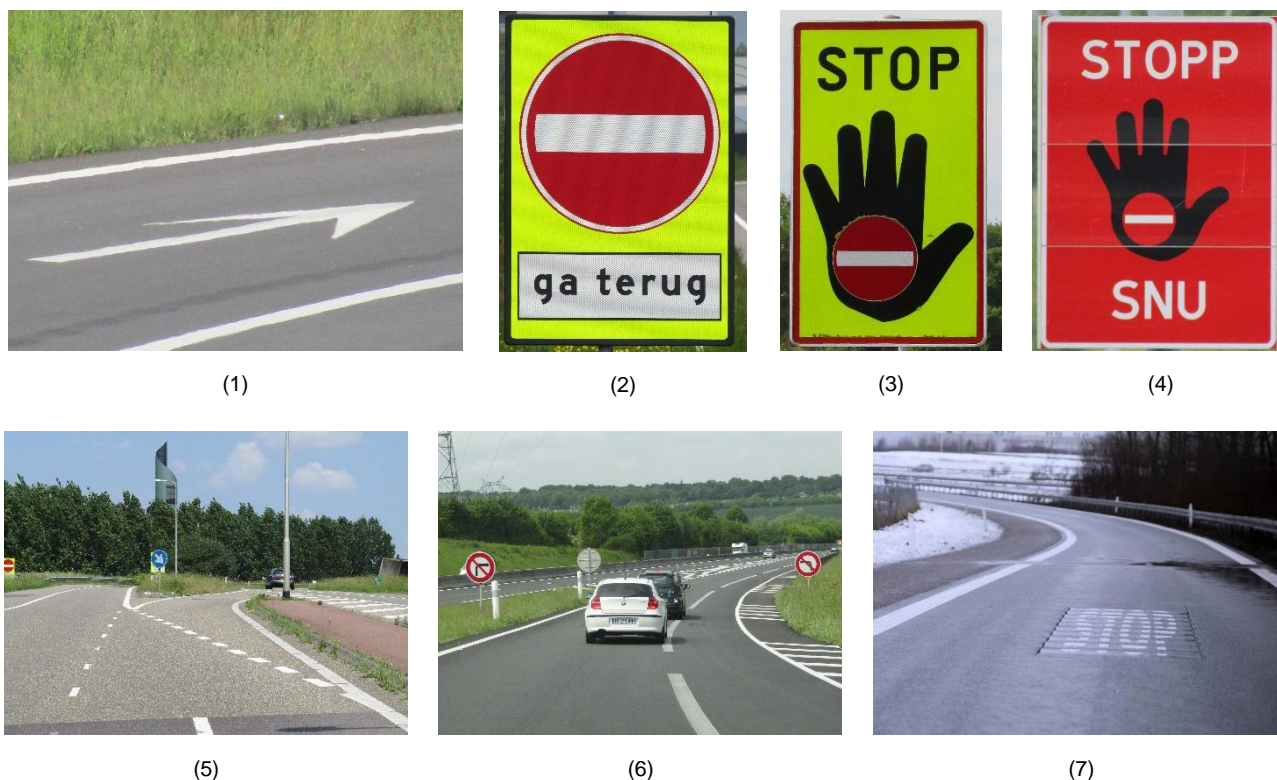
Een uitgebreide literatuurstudie van 51 studies, onderzoeken en wetenschappelijke publicaties uit binnen- en buitenland is uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de oorzaken en aanleidingen van spookrijden, alsook de mogelijke maatregelen tegen spookrijden (Machielsen, 2018).

¹ RWS, 2018a; ² VID, 2017; ³ ADAC, 2017; ⁴ Gerlach & Seipel, 2012; ⁵ Kemel, 2015; ⁶ FDOT, 2015; ⁷ Zhou, et al., 2012.

Een viertal oorzaken en aanleidingen voor spookrijden worden veruit het meest genoemd in de studies: (i) het kiezen van de afrit in plaats van de toerit naar de autosnelweg (30 van 51), (ii) ouderdom bij de bestuurder (31), (iii) moment op de dag, in het bijzonder avond- en nacht (31), en (iv) het gebruik van alcohol en/of drugs door de bestuurder (38). Andere opvallende oorzaken en aanleidingen zijn als volgt:

- Het kiezen van de afrit in plaats van de toerit is sterk gerelateerd aan het wegontwerp van de aansluiting. Desondanks wordt ook keren op de autosnelweg, bijvoorbeeld vanwege een gemiste afslag of het ontwijken van een toeweg, doch zonder eenduidige verklaring in de literatuur, relatief veel genoemd (25 van 51);
- Het moment van de dag heeft als voornaamste afgeleiden verminderd zicht (22 van 51), vermoeidheid (8) en verminderd zicht in combinatie met ouderdom van de bestuurder (7), wat voornamelijk gerelateerd is aan het feit dat oudere bestuurders minder goed in staat zijn om informatie snel te verwerken en adequaat te reageren. Een andere afgeleide is dat lage verkeersintensiteiten een oorzaak zijn van spookrijden (10 van 51), aangezien spookrijders dan minder signalen krijgen dat ze tegen het verkeer in rijden.
- Zelfmoord als motief voor spookrijden wordt 5 maal genoemd als aanleiding voor spookrijden. Dit is een bewuste keuze tot spookrijden. De media noemen zelfmoord vaker als aanleiding, maar wetenschappelijk gezien is slechts zeer beperkt bewijs beschikbaar. 3 van de 5 studies die zelfmoord als aanleiding voor spookrijden benoemen, spreken hoofdzakelijk over aannames of baseren zich op interviews met wegbeheerders; in slechts 2 studies is statistisch bewijs aangedragen. Desalniettemin benadrukken al deze studies dat zelfmoord de aanleiding is voor slechts een zeer beperkt aandeel spookrij-incidenten.

In totaal zijn 30 verschillende maatregelen tegen spookrijden gevonden in de 51 studies. Een aantal wordt veel genoemd: wegmarkeringen en bebording (32 van 51) worden het vaakst genoemd, al dan niet in combinatie met verhoogde (voelbare) markeringen of extra opvallende bebording. Dergelijke maatregelen zijn ook het meest bekend. Denk hierbij aan het verkeersbord C2 (verboden in te rijden) met onderbord "ga terug" op een felgele achtergrond. In het buitenland zijn vergelijkbare voorbeelden te vinden, zie figuur 3.



Figuur 3: Enkele voorbeelden van in literatuur genoemde maatregelen in de praktijk: (1) wegmarkering en (2) bebording in Nederland, met het (3) Belgische en (4) Noorse equivalent. Daarnaast bestaan ook andere maatregelen, zoals (5) een vergissingsweggetje zoals bij Ede, (6) bebording voor doorgaande

richting op de autosnelweg in onder meer Frankrijk, en (7) 3D-markering zoals in Denemarken (Vejdirektoratet, 2018).

Andere veel genoemde maatregelen zijn onder meer wegonwerp (28 van 51) of hieraan gerelateerd, waarschuwingssystemen voor zowel de spookrijder (21) als andere weggebruikers (27), en detectie van spookrijders (26). Hoewel alcohol- en drugsgebruik het vaakst genoemd is als oorzaak van spookrijden, zijn slechts een beperkt aantal maatregelen specifiek gericht op alcohol- en drugsgebruik. Een andere opvallende maatregel – die ook in de praktijk is toegepast – is een zogeheten vergissingsweggetje, waarbij potentiële spookrijders via een extra verbinding tussen de afrit en de toerit alsnog naar de correcte toerit worden geleid, zie figuur 3. Modernere maatregelen, zoals het gebruik van ITS, worden slechts beperkt benoemd, of kunnen gerekend worden tot het meer traditionele verkeersmanagement, zoals verkeersmanagementstrategieën met behulp van MTM, radio-notificaties en waarschuwingsteksten op DRIP's. Desondanks benoemen enkele studies wel het potentiële oplossend vermogen van meer intelligente maatregelen, zoals in-car waarschuwingen, connected vehicle applicaties, navigatiesystemen en autonome voertuigen (AV).

Menselijk handelen als oorzaak

De hiervoor genoemde oorzaken en aanleidingen zijn het resultaat van menselijk handelen. Daarom is spookrijden als fenomeen te beschrijven in termen van human errors, alsook de maatregelen om human errors te voorkomen. In 2000 hebben Blokpoel & De Niet dit reeds gedaan, waarbij zij onderscheid hebben gemaakt in bewuste en onbewuste fouten, en bedoelde en onbedoelde acties. Een fout in de uitvoering van een handeling is dan een onbedoelde actie en dus per definitie een onbewuste. Een fout in de planning is een bedoelde actie. Wanneer de bestuurder de fout bewust heeft gemaakt, dan is het een bewuste bedoelde actie – een overtreding. De bestuurder kan met een bedoelde actie ook een onbewuste fout maken: een vergissing.

In dit licht bezien, is het kiezen van de afrit in plaats van de toerit een onbedoelde actie, en dus een onbewuste fout. Tot zekere hoogte geldt dit ook voor spookrijders onder invloed van alcohol en drugs, hoewel het rijden onder invloed wel een overtreding kan zijn. Het keren op de autosnelweg is duidelijk een bedoelde actie. Wanneer de bestuurder zich niet bewust is van het feit dat hij of zij op een autosnelweg rijdt, kan men in dit geval spreken van een onbewuste fout. Echter, dit is niet altijd het geval. Desondanks zijn meest genoemde oorzaken en aanleidingen hoofdzakelijk te relateren aan onbewuste fouten. De meeste genoemde maatregelen zijn bedoeld om human errors te voorkomen. Echter, bedoelde acties, in het bijzonder bewuste fouten, zijn moeilijker te voorkomen dan onbedoelde acties. Daarom zijn de meest genoemde maatregelen gerelateerd aan deze onbedoelde acties. Het wegonwerp van kruisingen met af- en toeritten van en naar de autosnelweg heeft een sterke relatie met bedoelde acties: een correct (uitgevoerd) wegonwerp maakt het voor bestuurders “onnatuurlijk” om de afrit te kiezen in plaats van de toerit. Bewuste overtredingen zijn ook met correct (uitgevoerd) wegonwerp moeilijk te voorkomen (Machielsen, 2018).

Nieuwe technologieën en maatregelen

De nieuwe technologieën die tegenwoordig beschikbaar zijn en de technologieën die nog volop in ontwikkeling zijn, bieden nieuwe kansen voor andere en intelligente maatregelen tegen spookrijden. Hoewel in de huidige literatuur weinig concrete technologieën worden genoemd, is men het wel eens over de potentie van de technologieën. Aangezien nieuwe technologieën momenteel in groeiende mate worden geïmplementeerd in de praktijk, als onderdeel van de transitie naar een volwaardig en compleet intelligent transport systeem, is voor de toepassing van dergelijke technologieën tegen spookrijden eveneens een transitie voorgesteld, mede op basis van gesprekken met experts uit het werkveld. De basis van deze transitie is een correct toegepast wegonwerp. Dit houdt in dat de aansluitingen, kruisingen en de autosnelweg zelf consistent, duidelijk en correct zijn ontworpen en uitgevoerd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de correcte plaatsing van verkeersborden. Wanneer dit adequaat is gedaan, kunnen ITS technologieën de effectiviteit van correct wegonwerp verbeteren. Zodoende zijn de technologieën in staat om spookrijden te detecteren en daarnaar te handelen. Tenslotte zullen deze afzonderlijke ITS technologieën integreren in één voertuig: de introductie van AV.

Wegontwerp en wegbeeld

De transitie benadrukt de noodzaak van een goede basis met (correct) toegepast wegontwerp en -beeld. Hoewel wegontwerp-gerelateerde zaken zoals bebording en wegmarkering veel herhaald worden in de literatuur, blijven deze elementen van groot belang, met name gezien het feit dat ruimte voor verbetering bestaat. In termen van human factors maakt inconsistent en/of incorrect toegepast wegontwerp onbewuste fouten mogelijk, en faciliteert het bewuste fouten, zie figuur 4 (Machielsen, 2018). Daarom is een checklist voor wegontwerp en -beeld een mogelijke maatregel om voor bestaande aansluitingen te controleren of de reeds toegepaste maatregelen tegen spookrijden alsook het algemene wegontwerp en -beeld voldoen aan de richtlijnen; voor nieuw te (re)construeren aansluitingen biedt de checklist een proactieve benadering. Voor de checklist is een human factors benadering vanuit het perspectief van de weggebruiker cruciaal. Enkele succesvolle voorbeelden van dergelijke human factors gebaseerde checklists voor spookrij-maatregelen zijn te vinden in Scandinavië (Helmerts, 2014; Sørensen, Høye, Elvik, & Vaa, 2016) en kunnen daarom als voorbeeld dienen voor de Nederlandse situatie. Zodoende speelt de checklist in op het voorkomen van onbewuste fouten.



Figuur 4: Voorbeelden van mogelijk incorrect uitgevoerd wegontwerp. (1) De wegmarkering op de kruising kan verkeerd worden geïnterpreteerd en overschreden worden, waardoor men de afrit van de autosnelweg kan kiezen in plaats van de toerit. (2) Het bord C2 met onderbord "ga terug" is geplaatst dichtbij het divergentiepunt op de autosnelweg. Op dit punt kan de potentiële spookrijder niet meer open staan zijn voor dit gebod en/of het gebod negeren. (3) Hier staan de borden C2 met onderbord "ga terug" dichtbij de kruising waar ze duidelijk zichtbaar zijn voor verkeer in de correcte rijrichting. Bovendien dienen deze borden als een herinnering gebruikt te worden, hetgeen impliceert dat de borden in de verkeerde context gebruikt worden.

ITS toepassingen

Een vrij standaard ITS technologie – die ook nu al wordt toegepast – is detectie van spookrijders. Deze detectie gebeurt vanaf de wegwand en is niet specifiek gericht op één type human error. Voorbeelden zijn (i) lus- of radardetectie op afritten om spookrijders vanaf de afrit te kunnen detecteren, (ii) lus- of radardetectie op de hoofdrijbaan van de autosnelweg die een negatieve snelheid en/of rijrichting kunnen detecteren, en (iii) intelligente camera's die pixels die in tegengestelde richting beweging zien als een potentiële spookrijder. Studies en toepassing in de praktijk van dergelijke detectie tonen het (gerealiseerde) potentieel van deze techniek (Bidar, 2008; Trafikverket, 2011; ViNotion BV, 2017). Bovendien biedt een goede werking van detectie een basis voor meer intelligente systemen in de toekomst in coöperatieve systemen.

Het verkeerssysteem wordt steeds intelligenter en ook meer een coöperatief systeem. In een coöperatief systeem is communicatie binnen het systeem van groot belang. Dergelijke communicatie kan ook toegepast worden om verkeer te waarschuwen voor spookrijders, zonder daarbij een concrete focus op een bepaald type human errors te hebben. De voorgestelde communicatietechnologieën zijn (i) coöperatieve systemen, (ii) CAN-bus (Controller Area Network bus; een systeem in het voertuig die andere systemen met elkaar laat communiceren en daarbij data in near-real-time verzamelt (Jiqiang, Chuansen, Ronggang, & Liqiang, 2013)) data en (iii) PVD (Probe Vehicle Data). Alle drie de technologieën verzamelen onder meer data over de positie van voertuigen, snelheid, versnelling en remkracht. Deze gegevens kunnen vervolgens gebruikt worden om een spookrijder te detecteren en

via V2V, V2I en/of I2V communicatie bij de weggebruikers te brengen. Theoretische en praktijk studies zijn reeds uitgevoerd naar de werking en effectiviteit van dergelijke technologieën (Enev, Takakuwa, Koscher, & Kohno, 2016; Fugiglando, et al., 2017; Fugiglando, Santi, Milardo, Abida, & Ratti, 2017; Provincie Noord-Brabant, 2017; RWS, 2017; RWS, 2018b).

GPS en navigatiesystemen worden in de literatuur genoemd als oorzaak en als maatregel tegen spookrijden. Jalayer, Zhou, & Zhang (2016) stellen dat doordat bestaande systemen niet nauwkeurig genoeg zijn, navigatiesystemen spookrijden kunnen veroorzaken. Echter, ze stellen ook dat met verbeterde mapping software GPS/navigatie als oorzaak van spookrijden op te lossen is, opdat onbedoelde acties en dus onbewuste fouten voorkomen worden. Een stap verder zou zijn om nauwkeurigere GPS te ontwikkelen waarbij naast de bestaande GPS plaatsbepaling ook met visuele informatie – via video of radar – de exacte locatie op de weg wordt bepaald.

Verkeersbordenherkenning bestaat al in moderne voertuigen. Naast het alleen tonen van het verkeersbord in het voertuig, zijn deze systemen ook in staat om te herkennen of de bestuurder het verkeersbord heeft gezien en of het voertuig voldoet aan het gebod/verbod getoond op het verkeersbord. Daarnaast hebben Stallkamp, Schlipfing, Salmen, & Igel (2012) in een benchmark vastgesteld dat sommige geautomatiseerde systemen in het algemeen beter presteren dan de mens. Beide aspecten bieden kansen om met verkeersbordenherkenning de bestuurder te waarschuwen over eventueel spookrijden en zelfs het voertuig laten ingrijpen wanneer de bestuurder gaat spookrijden – het voertuig stopt zichzelf. Hierdoor kan verkeersbordenherkenning onbedoelde acties en de daaruit volgende onbewuste fouten voorkomen. Indien het voertuig ook ingrijpt, kan verkeersbordenherkenning ook bedoelde acties voorkomen.

Lane Departure Warning (LDW)/Lane Keep Assist (LKA) systemen bieden ook kansen om ingezet te worden tegen spookrijden, met name waar het keren op de autosnelweg betreft. Enkele voorwaarden voor ieder LDW/LKA systeem zijn dat het systeem een robuuste performance dient te hebben, rekenkundig snel moet zijn en kosten-efficiënt moet zijn (Narote, Bhujbal, Narote, & Dhane, 2018). Onafhankelijk van de onderliggende techniek van een LDW/LKA systeem, is het systeem in staat om keren te detecteren en daarop te acteren via een waarschuwing of interventie. Omdat keren een bewuste actie is, zijn dergelijke systemen tegen spookrijden gericht op het voorkomen van bedoelde acties.

Een integratie van verkeersbordenherkenning en LDW/LKA systemen leidt tot traject voorspelling. Een vergelijkbaar systeem bestaat reeds met parkeercamera's in voertuigen. Op basis van de stand van het stuur en visuele informatie, is het systeem in staat om het korte termijn traject te voorspellen en te beoordelen of dit traject "correct" is. Met andere woorden, het systeem bepaalt of het voorspelde traject in overeenstemming is met de geldende verkeersregels. In het geval van spookrijden betekent dit dat het systeem waarschuwt of ingrijpt wanneer het voorspelde traject resulteert in spookrijden, en daarbij onbewuste fouten tracht te voorkomen, doch met een relatie tot bewuste fouten indien het voertuig ingrijpt. Hoewel de basis van het systeem bestaat in parkeercamera's, is een verdere ontwikkeling voor een toepassing tegen spookrijden noodzakelijk.

Autonome voertuigen

Het eindpunt van de transitie zijn de autonome voertuigen (AVs). In AVs komen onder meer alle voorgaande technologieën samen. Van AVs wordt verwacht dat zij zeer effectief zijn in het voorkomen van spookrijden daar zij niet gehinderd worden door de menselijke oorzaken, zoals leeftijd, alcoholgebruik en verminderd zicht, dus geen human errors. Ook de gevolgen van spookrijden kunnen voorkomen worden wanneer de spookrijder een conventioneel voertuig is: een AV kan een mogelijk ongeval ontwijken. In dit geval dient uitgegaan te worden van AVs vanaf SAE-level 3 als maatregel tegen spookrijden. Vanaf dit level voert het voertuig de meeste rijtaken zelfstandig uit waarbij de menselijke bestuurder hooguit als back-up fungeert (SAE International, 2017). Hoewel nog vele barrières bestaan wat betreft de invoering van AVs vanaf SAE-level 3 (Fagnant & Kockelman, 2015), groeit de politieke aandacht hiervoor enorm (Van Nieuwenhuizen, 2018).

Beoordeling door experts

De verschillende maatregelen en ITS technologieën zijn beoordeeld in een MCA op basis van de subjectieve scores gegeven door een tiental experts van Rijkswaterstaat en kennisinstellingen. De experts zijn gevraagd de verschillende maatregelen en ITS technologieën (alternatieven) te beoordelen op de verschillende criteria, alsook een set met weegfactoren voor de verschillende criteria vast te stellen. De MCA betreft een subjectieve beoordeling (expert judgement) van de criteria: (a) kostenefficiëntie, (b) effectiviteit, te weten het voorkomen van en beperken van de gevolgen van spookrijden, (c) toepasbaarheid op korte termijn en implementatie issues, (d) bereikbaarheids- en leefbaarheidseffecten en (e) interactie tussen de maatregelen, waarbij (a), (b) en (c) als meest voorname criteria zijn beoordeeld.

Aan de hand van de lijst met oude en nieuwe maatregelen is een selectie gemaakt van acht alternatieven. Dat zijn: (i) checklist wegontwerp en -beeld, (ii) wegkant detectie, (iii) communicatietechnologieën, (iv) GPS en navigatiesystemen, (v) verkeersbordherkenningsystemen, (vi) LDW/LKA systemen, (vii) trajectvoorspelling, en (viii) AVs. Kijken we naar de resultaten dan zien we dat (i) het beste op scoort criteria (a) en (c), terwijl (viii) het beste scoort op (b). Deze resultaten zijn input voor de MCA. Het resultaat van de MCA levert dat (i) het beste scoort, gevolgd door (iv) en (v); (ii) en (vii) scoren het laagst. De gevoeligheidsanalyse toont aan dat de achtergrond van de betrokken experts de resultaten van de MCA sterk beïnvloedt, met name wat betreft de beoordelingsscores per alternatief per criterium, hetgeen het subjectieve karakter van de analyse benadrukt.

Conclusies en aanbevelingen

De bestaande literatuur over spookrijden geeft een volledig en consistent beeld van de oorzaken en aanleidingen van spookrijden, namelijk (i) het kiezen van de afrit in plaats van de toerit naar de autosnelweg, (ii) ouderdom bij de bestuurder, (iii) moment op de dag, in het bijzonder avond- en nacht, en (iv) het gebruik van alcohol en/of drugs door de bestuurder. De data ondersteunt oorzaak (iii), alsook de trend dat spookrijden vaker voorkomt in het weekend dan werkdagen. Wat betreft maatregelen zijn wegommeringen, bebording en algemeen wegontwerp en -beeld veelgenoemde maatregelen. Intelligente maatregelen worden nog niet veel genoemd in de literatuur. In dit paper is getracht dergelijke intelligente maatregelen te identificeren en te beoordelen op basis van expert judgement van verschillende experts. De conclusie daarvan is dat, gegeven de set van criteria en alternatieven, de checklist wegontwerp en -beeld het beste alternatief is. Verbetering van GPS en navigatiesystemen en verkeersbordherkenningsystemen zijn meer intelligente ITS toepassingen die eveneens goed scoren, met veelbelovende resultaten. Ofschoon AVs volgens de multicriteria analyse geen interessante optie is, omdat AVs noch kostenefficiënt, noch eenvoudig en snel toe te passen zijn, is het mogelijk in de toekomst wel aantrekkelijk gezien de hoge score op effectiviteit, zoals beoordeeld door de betrokken experts. Desalniettemin is de voornaamste aanbeveling om de checklist wegontwerp en -beeld te implementeren, hetgeen het eerder genoemde transitiepad met een correct en adequaat wegontwerp en wegbeeld als basis benadrukt. Zodoende kunnen in de toekomst andere innovatieve en intelligente ITS technologieën en maatregelen eenvoudig worden geïmplementeerd, waarbij een zo goed mogelijke effectiviteit kan worden nagestreefd.

Referenties

Naast de in de tekst genoemde referenties bevat deze lijst zoveel mogelijk referenties die met spookrijden te maken hebben. Het vormt daardoor een uitgebreid overzicht van de beschikbare literatuur over spookrijden.

ADAC. (2017). Verkehrsmeldungen - Statistik 2016: Warnmeldungen auf Autobahnen. Ressort Verkehr - Verkehrspolitik (VPO). München, Duitsland: ADAC e.V.

Bidar, L. H. (2008). ITS Fra behov til løsning: Kunnskapsøkende satsninger i Sverige. ITS konferanse Trondheim 9. mars 2009. Trondheim: Sweco.

- BIVV. (2017, Maart 9). Hoogste risico op een ongeval met spookrijders in maart: Bijna 4 ongevallen op 10 met spookrijders tijdens weekendnachten.
- Blokpoel, A., & Braimaister, L. (1998). Spookrijders op autosnelwegen, deel 2. SWOV, Leidschendam, Nederland.
- Blokpoel, A., & De Niet, M. (2000). Spookrijders en frontale botsingen op autosnelwegen. SWOV, Leidschendam, Nederland.
- Blokpoel, A., Braimaiser, L., & Tromp, J. P. (1998). Spookrijders op autosnelwegen, deel 1. SWOV, Leidschendam, Nederland.
- Braam, A. C. (2006). Wrong Way Crashes: Statewide Study of Wrong Way Crashes on Freeways in North Carolina. North Carolina Department of Transportation, Traffic Safety Systems Management Unit, Raleigh, North Carolina, U.S.A.
- Breevoord, G. A. (1998). Spookrijden. Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer & Vervoer, Den Haag, Nederland.
- Chrysler, S. T., & Schrock, S. D. (2005). Field Evaluations and Driver Comprehension Studies of Horizontal Signing. The Texas A&M University System, Texas Transportation Institute, College Station, Texas, U.S.A. Opgehaald van <http://tti.tamu.edu/documents/0-4471-2.pdf>
- Cooner, S. A., Cothron, A. S., & Ranft, S. E. (2004). Countermeasures for Wrong-Way Movements on Freeways: Overview of Project Activities and Findings. The Texas A&M University System, Texas Transportation Institute, College Station, Texas, U.S.A.
- De Mol, J., Vanhauwaert, E., & Vandenberghe, W. (2010). Verhoogde verkeersveiligheid op autosnelwegen dankzij ITS. Diepenbeek, België: Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid.
- De Niet, M., & Blokpoel, A. (2000). Tegen de stroom in. SWOV, Leidschendam, Nederland.
- Elvik, R. (2012). Speed Limits, Enforcement, and Health Consequences. *Annual Review of Public Health*(33), 225-238. doi:10.1146/annurev-publhealth-031811-124634.
- Enev, M., Takakuwa, A., Koscher, K., & Kohno, T. (2016). Automobile Driver Fingerprinting. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies*(1), 34-50.
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A* (77), 167-181. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>.
- FDOT. (2015). Statewide Wrong Way Crash Study. Florida Department Of Transportation, Tallahassee, Florida, U.S.A.
- Finley, M. D., Venglar, S. P., Iragavarapu, V., Miles, J. D., Park, E. S., Cooner, S. A., & Ranft, S. E. (2014). Assessment of the Effectiveness of Wrong Way Driving Countermeasures and Mitigation Methods. Texas A&M Transportation Institute, College Station, Texas, U.S.A. Opgehaald van <http://tti.tamu.edu/documents/0-6769-1.pdf>.
- Fugiglando, U., Massaro, E., Santi, P., Milardo, S., Abida, K., Stahlmann, R., Ratti, C. (2017). Driving Behavior Analysis through CAN Bus Data in an Uncontrolled Environment.
- Fugiglando, U., Santi, P., Milardo, S., Abida, K., & Ratti, C. (2017). Characterizing the “Driver DNA” Through CAN Bus Data Analysis. Opgehaald van http://senseable.mit.edu/papers/pdf/20171020_Fugiglando_etal_DriverDNA_CarSys.pdf.

- Gerlach, J., & Seipel, S. (2012). Falschfahrten auf Autobahnen. Bau- und Stadtentwicklung. Wuppertal, Duitsland: Bundesministerium für Verkehr. Opgehaald van http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/612/pdf/falschfahrten_bericht_lang.pdf.
- Gibbons, R., Edwards, C., Bhagavathula, R., Carlson, P., & Owens, D. (2012). Development of Visual Model for Exploring Relationship Between Nighttime Driving Behavior and Roadway Visibility Features. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2298), 96-103.
- Helmers, G. (2014). *Nordic Human Factors Guideline: Explanatory model for road user behaviour and implications for the design of road and traffic Environment*. Lyngby, Denmark: Trafitec.
- Hovestad, M. (2017). Self-Assessment SRTI.
- Jalayer, M., Zhou, H., & Zhang, B. (2016). Evaluation of navigation performances of GPS devices near interchange area pertaining to wrong-way driving. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(6), 593-601. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.07.003>.
- Jiqiang, X., Chuansen, Z., Ronggang, B., & Liqiang, X. (2013). Real-time and reliability analysis of time-triggered CAN-bus. *Chinese Journal of Aeronautics*, 26(1), 171-178.
- Kemel, E. (2015, Februari). Wrong-way driving crashes on French divided roads. *Accident Analysis and Prevention*(75), 69-76. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.11.002>.
- Larsen, L., & Carstensen, G. (2011). *Spøgelsesbilisme*. Danmarks Tekniske Universitet, Transport. København, Denemarken: Vejdirektoratet.
- Lathrop, S. L., Dick, T. B., & Nolte, K. B. (2010, Maart). Fatal Wrong-Way Collisions on New Mexico's Interstate Highways, 1990–2004. *Journal of Forensic Sciences*(55), 432-437. doi:10.1111/j.1556-4029.2009.01305.x.
- Lin, P.-S., Ozkul, S., Guo, R., & Chen, C. (2018). Assessment of countermeasure effectiveness and informativeness in mitigating wrong-way entries onto limited-access facilities. *Accident Analysis and Prevention*, 116, 79-93. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.027>.
- Machielsen, M. M. C. J. (2018). *Ghostbusters: Mitigating Wrong-Way Driving with ITS Solutions*. Delft University of Technology. Middelburg, Nederland: Rijkswaterstaat.
- Martens, M. H., & Van der Horst, A. R. (1997). *Optimaliseren pijl tegen spookrijden*. Soesterberg, Nederland: TNO.
- Moler, S. (2002, September/Okttober). Stop. You're Going the Wrong Way! Opgeroepen op Februari 28, 2018, van U.S. Department of Transportation: Federal Highway Agency: <http://www.tfhr.gov/pubrds/02sep/06.htm>.
- Morena, D. A., & Leix, T. J. (2012, Mei/Juni). Where These Drivers Went Wrong. *Public Roads*, 75. Opgehaald van <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/12mayjune/05.cfm>.
- Narote, S. P., Bhujbal, P. N., Narote, A. S., & Dhane, D. M. (2018). A review of recent advances in lane detection and departure warning system. *Pattern Recognition*(73), 216-234. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2017.08.014>.
- NCHRP. (2012). *Human Factors Guidelines for Road Systems*. Transportation Research Board, Washington D.C., U.S.A.
- NTSB. (2012). *Highway Special Investigation Report: Wrong Way Driving*. Washington D.C., U.S.A.

- Nuyts, E., Hannes, E., & Dreesen, A. (2004). Risicoanalyse autosnewegen: Deel I: Literatuurstudie. Diepenbeek, België: Steunpunt Verkeersveiligheid bij Stijgende Mobiliteit.
- Ponnaluri, R. V. (2016a, Februari). Addressing wrong-way driving as a matter of policy: The Florida Experience. *Transport Policy*(46), 92-100. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.11.011>.
- Ponnaluri, R. V. (2016b, Maart). The odds of wrong-way crashes and resulting fatalities: A comprehensive analysis. *Accident Analysis & Prevention*(88), 105-116. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.012>.
- Ponnaluri, R. V. (2017, April). Modeling wrong-way crashes and fatalities on arterials and freeways. IATSS Research. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.04.001>.
- Pour-Rouholamin, M., & Zhou, H. (2016, September). Analysis of driver injury severity in wrong-way driving crashes on controlled-access highways. *Accident Analysis and Prevention*(94), 80-88. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.022>.
- Pour-Rouholamin, M., Zhou, H., Shaw, J., & Tobias, P. (2015). Current Practices of Safety Countermeasures for Wrong-Way Driving Crashes. Transportation Research Board Annual Meeting. 94. Washington D.C., U.S.A.: Transportation Research Board.
- Pour-Rouholamin, M., Zhou, H., Zhang, B., & Turochy, R. E. (2016). Comprehensive Analysis of Wrong-Way Driving Crashes on Alabama Interstates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 50-58. doi:10.3141/2601-07.
- Provincie Noord-Brabant. (2017). Spookfiles A58: Resultaten en leerpunten. 's-Hertogenbosch, Nederland. Opgehaald van <http://www.spookfiles.nl/sites/www.spookfiles.nl/files/documenten/paraplurapportagespookfilesa58-def-nederlands.pdf>.
- Rosander, P., & Johansson, C. (2015). Wrong-Way Driving: En studie av ett ITS-system för detektion och varning för fordon i fel köriktning. Luleå, Zweden: Luleå Tekniska Universitet.
- RWS. (2000). Advies elektronische maatregelen bij spookrijden. Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Utrecht, Nederland.
- RWS. (2017, April 17). Smart Mobility: informatie uit sensoren met een CAN-lezer. Opgeroepen op April 9, 2018, van RWS: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/nieuws/nieuwsarchief/p2017/04/smart-mobility-informatie-uit-sensoren-met-een-can-lezer.aspx>.
- RWS. (2018a). VIAS, Incidentmanagement overall rapportage. (Rijkswaterstaat). Opgeroepen op Februari 26, 2018, van NIS.
- RWS. (2018b). Probe Vehicle Data. Opgehaald van Cooperative ITS Corridor: <https://itscorridor.mett.nl/English/Project+details/Cooperative+services/Probe+Vehicle+Data/default.aspx>.
- SAE International. (2017, September 3). Automated Driving. Opgehaald van WayBack Machine: https://web.archive.org/web/20170903105244/https://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf.
- Sandt, A., Al-Deek, H., Rogers, J. H., & Alomari, A. H. (2015). Wrong-Way Driving Prevention: Incident Survey Results and Planned Countermeasure Implementation in Florida. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2484), 99-109.
- Scaramuzza, G., & Cavegn, M. (2007). Wrong-Way Drivers: Extent – Interventions. Swiss Council For Accident Prevention , Research Department, Bern, Zwitserland.

- Scifres, P. N. (1974). Wrong-Way Movements on Divided Highways. Engineering Experiment Station Purdue University in cooperation with Indiana State Highway Commission, West Lafayette, Indiana, U.S.A.
- Sétra. (2008). Prévention et traitement des prises à contresens. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Bagnaux, Parijs, Frankrijk.
- Shepard, F. D. (1975). Evaluation of raised pavement markers for reducing incidences of wrong-way driving. Virginia Highway & Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia, U.S.A.
- Sørensen, M. W., Høye, A., Elvik, R., & Vaa, T. (2016). 3.28 Tiltak mot kjøring mot kjøreretningen. (TØI, Redacteur) Opgeroepen op Mei 13, 2018, van Trafikksikkerhetshåndboken: https://tsh.toi.no/328-tiltak-mot-kjoering-mot-kjoereretningen.htm#anchor_160342-80.
- Stallkamp, J., Schlipfing, M., Salmen, J., & Igel, C. (2012). Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition. *Neural Network*(32), 323-332. doi:10.1016/j.neunet.2012.02.016.
- SWOV. (2009). Spookrijden. SWOV, Leidschendam, Nederland.
- Trafikverket. (2011). ITS på väg, Utbildningsmaterial. Göteborg, Zweden: Trafikverket.
- Travis, L. L., Clark, D. E., Haskins, A. E., & Kilch, J. A. (2012). Mortality in rural locations after severe injuries from motor vehicle crashes. *Journal of Safety Research*, 43, 375-380. Opgehaald van <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2012.10.004>.
- Van Nieuwenhuizen, C. (2018, Maart 26). Toespraak minister Van Nieuwenhuizen bij RAI Mobiliteitsdiner 26 maart 2018. Opgehaald van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/regering/bewindspersonen/cora-van-nieuwenhuizen/documenten/toespraken/2018/03/26/toespraak-minister-van-nieuwenhuizen-bij-rai-mobiliteitsdiner>.
- Vejdirektoratet. (2018, Maart 21). Spøgelsesbilister: Spøgelsesbilister i tal og figur. Opgeroepen op Mei 15, 2018, van Vejdirektoratet: http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/temaer/trafikikkerhed/Sider/Sp%C3%B8gelsesbilister.aspx.
- Vicedo, P. (2007). Preventing and Managing Ghost-Driver Incidents: The French Experience. *Tollways*(Autumn), 42-49.
- VID. (2017, December). Spookrijders data 2016-2017.
- ViNotion BV. (2017). Project Slimme Camera's. Eindhoven/Utrecht, Nederland: RWS.
- Wilmink, I., Immers, B., & Schuurman, H. (2011). Toepassingsmogelijkheden van coöperatieve systemen en services in Nederland. Nationaal Verkeerskunde Congres. Nieuwegein, Nederland.
- Zhou, H. (2014). Emerging Safety Countermeasures for Wrong-way Driving. Annual Transportation Conference, 75. Auburn, Alabama, U.S.A.
- Zhou, H., & Pour-Rouholamin, M. (2014). Guidelines for Reducing Wrong-Way Crashes on Freeways. Auburn University, Department of Civil Engineering. Urbana, Illinois, U.S.A.: Illinois Center for Transportation.
- Zhou, H., Zhao, J., Fries, R., Gahrooi, M. R., Wang, L., Vaughn, B., . . . Ayyalasomayajula, B. (2012). Investigation of Contributing Factors Regarding Wrong-Way Driving on Freeways. Illinois Center for Transportation, Department of Civil and Environmental Engineering, Urbana, Illinois, U.S.A.