

**Verkeersveiligheidseffecten van
uitschakeling van verlichting en de relatie
met verkeersintensiteiten**

Verkeersveiligheidseffecten van uitschakeling van verlichting en de relatie met verkeersintensiteiten

Datum 1 juli 2011
Status definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart Postbus 5044 2600 GA Delft
Informatie	DVS-Loket
Telefoon	088-7982555
Auteur	Schepers, J.P.
Datum	1 juli 2011
Status	definitief

Inhoud

Samenvatting	6
1	Inleiding 11
2	Literatuur over het effect van verlichting op de rijtaak 13
3	Literatuur over het effect van verlichting op verkeersveiligheid 17
4	Empirisch onderzoek 21
5	Schatting van het effect van de maatregel 34
6	Conclusies en aanbevelingen 42
7.	Literatuur 44
Bijlage 0	Uitgangspunt bij de verdeling licht-duisternis 47
Bijlage 1	Tabellen en statistische toetsen bij hoofdstuk 4 48
Bijlage 2	Effectschattingen bij hoofdstuk 5 55
Bijlage 3	Verslag Workshop Verlichting 56

Samenvatting

Op 10 februari 2011 heeft de Staatssecretaris van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu zich in het Algemeen Overleg positief uitgesproken over het op korte termijn duurzamer maken van de openbare verlichting op het areaal van Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat bereidt hiervoor een maatregel voor waarbij de verlichting wordt uitgeschakeld bij lagere intensiteiten. Het doel van deze studie is het berekenen van de effecten van deze maatregel op de verkeersveiligheid van autosnelwegen. De maatregel geldt niet als er sprake is van rijtaakverzwarende omstandigheden, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, calamiteiten en knooppunten. Deze worden dan ook buiten beschouwing gelaten bij het berekenen van de effecten van de maatregel. In deze studie is er vanuit gegaan dat de maatregel ingevoerd kan worden op ca 700km aan autosnelwegen met verlichting. Daar vallen bij duisternis in de huidige situatie jaarlijks circa 12 doden en 84 ernstig gewonden. In een later stadium wordt de maatregel verder uitgewerkt. Daarbij zal het areaal voor invoering kleiner of juist groter worden.

De effecten van de maatregel zijn in eerste instantie onderzocht voor een variant waarbij de verlichting wordt ingeschakeld vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder de 800 mtv/uur/rijstrook. Deze grenzen worden al toegepast op autosnelwegen door natuurgebieden. Daarnaast is onderzocht bij welke intensiteitgrens voor het schakelregime geen aantoonbare negatieve effecten op de verkeersveiligheid zijn te verwachten. Er is een literatuurstudie uitgevoerd. Daarnaast is voor verlichte en onverlichte wegvakken de nacht/dag risicoratio vergeleken. De nacht/dag risicoratio is het aantal doden en ernstig gewonden per voertuigkilometer bij daglicht gedeeld door het aantal doden en ernstig gewonden per voertuigkilometer bij duisternis. Met deze ratio worden verstoringen (factoren die zowel bij daglicht als bij duisternis het risico beïnvloeden) zoveel mogelijk uitgesloten.

Uit deze studie kunnen voor de invoering van de maatregel op autosnelwegen de volgende conclusies worden getrokken:

- Als de verlichting bij duisternis wordt ingeschakeld vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder 800 mtv/uur/rijstrook is een aantoonbaar negatief effect op de verkeersveiligheid te verwachten van naar schatting 2 extra doden en 12 extra ernstig verkeersgewonden.
- Als de verlichting wordt uitgeschakeld bij duisternis als de intensiteit lager is dan 100 mtv/uur/rijstrook is geen effect op de verkeersveiligheid te verwachten. Een aanzienlijk deel van de autosnelwegen heeft in het tijdvak van 23:00 tot 5:00 uur een intensiteit onder deze grens.

De gevonden conclusies zijn vertaald in drie varianten. In tabel 1 is per variant weergegeven wat op de betreffende wegen (die nu tijdens alle uren bij duisternis worden verlicht) de verkeersveiligheidseffecten zijn. Bij variant 1 stijgt het aantal doden bij duisternis naar verwachting van 12 naar 13,9 en het aantal ernstig gewonden van 84 naar 96. Bij variant 2 is geen effect op het aantal doden en gewonden te verwachten. Bij variant 3 zou, volgens een niet significante schatting, het aantal doden van 12 naar 12,3 kunnen stijgen en het aantal ernstig gewonden van 84 naar 86. Dat effect is niet aantoonbaar. De aantallen zijn steeds per jaar.

Tabel 1 Jaarlijks effect in extra doden en ernstig verkeersgewonden bij drie varianten voor de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten (uitgaande van 700 km autosnelweg)

	Aantal slachtoffers bij duisternis		Percentage verlichting bij duistere uren
	doden	ernstig gewonden	
Huidige situatie (verlichting brandt bij duisternis)	12	84	100%
Variant met alternatief schakelregime:			
1. inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook	13,9	96	17%
2. uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook	12	84	63%
3. inschakeling in de periode van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur	12,3	86	49%

De bovenstaande effectschattingen zijn gebaseerd op het huidige kwaliteitsniveau van de bebakening en markering. Als de kwaliteit daarvan zou verslechteren hebben weggebruikers bij duisternis op onverlichte wegen minder geleidende informatie tot hun beschikking. Een randvoorwaarde bij de bovenstaande effectschatting is dan ook dat het huidige niveau van bebakening en markering wordt gehandhaafd. Zakt het niveau, dan kan het aantal extra slachtoffers groter zijn dan het aantal dat in tabel 1 is genoemd.

De in deze correlatieve studie gevonden effecten voor verlichting stemmen overeen met eerdere Nederlands studies gericht op autosnelwegen, waaronder één voor-na-studie. De studieopzet lijkt geen effect te hebben op de gevonden resultaten. In het buitenland worden veelal kleinere effecten gevonden. Dat komt waarschijnlijk doordat in andere landen waar studies zijn uitgevoerd bij lagere verkeersintensiteiten verlichting wordt aangelegd. De effecten van verlichting lijken kleiner te zijn bij lagere etmaalintensiteiten.

Summary

February 10th 2011, State Secretary of the ministry of Infrastructure and the Environment expressed his intention to improve the sustainability of road lighting on motorways in the Netherlands. Rijkswaterstaat, the national road authority, prepares a policy to switch off motorway lighting during hours with low traffic volumes. The aim of this study is to estimate the road safety effects of this policy. The measure will not be introduced at road sections where driving demands are increased, for instance due to road works or at interchanges where traffic turbulence is more common. These situations and locations are excluded from this study. It is assumed that the new policy will be introduced at 700 km of motorways with road lighting. These motorways had 12 deaths and 84 seriously injured victims in darkness per year during the study period (2005-2009). The policy will be further developed at a later stage using the results of this study. At that stage, the area where the policy will be implemented may increase or decrease.

A literature study and a crash study were conducted. In the crash study the relative risk of darkness versus in daylight of lit and unlit road sections are compared, taking traffic volumes during darkness and daylight into account. Negative binomial regression was used with the number of police recorded deaths and serious injuries from 2005 up to 2009 as dependent variable. The reason for using the relative risk of darkness versus in daylight is that the influence of confounding factors can be excluded, i.e. factors that influence road safety to the same extent during darkness and daylight.

The following conclusions were drawn:

- The likelihood of crashes with deaths and serious injuries during darkness is on average 23% lower on lit motorways as compared to unlit motorways.
- No effect on road safety is expected if motorway lighting is switched off at traffic volumes under 100 motor vehicles/hour/lane.
- A difference in relative risk of 30% was found for darkness versus daylight in dark hours during the morning (5.00-9.00 h) and the evening (17.00-23.00 h), while a non-significant difference of 13% was found during night hours (23.00-9.00 h). The fact that the latter difference is smaller may be due to the link with traffic volumes, i.e. the lower the volume the smaller the difference.

Using these conclusions resulted in the following estimates for two variants:

- Road safety decreases if motorway lighting is switched on at traffic volumes over 1100 motor vehicles/hour/lane and switched off at traffic volumes under 800 motor vehicles/hour/lane (note that this is the current regime for motorways that run through nature reserves). The number of deaths is expected to increase by 2 and the number of serious road injuries by 12.
- No effect on road safety is expected if motorway lighting is switched off at traffic volumes under 100 motor vehicles/hour/lane. A substantial part of the motorways have a traffic volume under 100 motor vehicles/hour/lane between 23.00 and 5.00 h.

These conclusions are drawn assuming the current level of beaconing and marking on Dutch motorways. Road safety effects may be affected in case the quality decreases. The results are in accordance with two earlier studies on the effect of motorway lighting in the Netherlands. Vis (1993) conducted a correlational study comparable to the current study and found an effect of 23%. Tan (1975) found an effect of 22% in a study with a before-after design. Smaller effects have been found in studies in other countries, e.g. 4% in the meta-analysis by Elvik (2009) (13% without correction for publication bias). This may result from different criteria for installing road lighting. In the Netherlands, motorway lighting is only installed in case traffic volumes during rush hours exceed 1,500 motor vehicles/hour/lane (equivalent to an AADT of about 70,000 for a 2x2 motorway). Many other countries install road lighting at lower volumes.

An explanation for reduced effects at lower volumes may be the fact that driving speed increases between 1 and 2 km/h at lower traffic volumes after road lighting is installed (Folles, et al., 1999; Hogema en Kaptein 1998; Hogema, et al., 2005; Assum, et al., 1999). This may increase the number of single-vehicle crashes, an effect that was found in both the current study and the meta-analyses by Elvik (2009), although it was not found to be statistically significant. Elvik (2009) found a rise of 40% that was almost significant. In the current study, the likelihood of single-vehicle crashes was found to increase by 26% between 23.00 and 5.00 h. The effect on other crashes was still positive resulting in a non-significant 13% lower crash likelihood between 23.00 and 5.00 h.

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd om informatie te leveren ten behoeve van de besluitvorming over en het verder uitwerken van de maatregel Verlichting uit bij lage verkeersintensiteiten. Bij de totstandkoming en afronding hebben diverse personen een bijdrage geleverd middels het aandragen van relevante literatuur en een bijdrage in de discussie bij de workshop waarvan in Bijlage 3 een verslag is opgenomen: Jeroen Hogema en Richard van der Horst van TNO Human Factors, Dick de Waard van de Rijksuniversiteit Groningen, Rob Eenink van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, Ton van den Brink en Bob Hamel van Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart. Dank hiervoor!

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Op 10 februari 2011 heeft de Staatssecretaris van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu zich in het Algemeen Overleg positief uitgesproken over het op korte termijn duurzamer maken van de openbare verlichting in het areaal van de Rijkswaterstaat. Hiervoor wordt in 2011 een maatregel ingevoerd waarbij de openbare verlichting langs het hoofdwegennet wordt uitgeschakeld bij lagere intensiteiten. Vooral nog worden hiervoor de grenzen aangehouden die worden gehanteerd voor het in- en uitschakelen van dynamische verlichting: inschakelen als de intensiteit boven de 1100 motorvoertuigen per rijstrook per uur komt en uitschakelen als de intensiteit onder de 800 motorvoertuigen per rijstrook per uur zakt. De maatregel wordt in het vervolg van dit rapport aangeduid als "de maatregel" of "de maatregel verlichting uit bij lage verkeersintensiteiten". De maatregel geldt niet als er sprake is van rijtaakverzwarende omstandigheden, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, calamiteiten, extreem slecht weer, knooppunten en locaties waar een weg niet aan de ontwerprichtlijnen voldoet.

Doel van de maatregel

Met de maatregel wordt naast duurzaamheid (een besparing op energieverbruik) ook een kostenbesparing beoogt. De energiekosten kunnen dalen. Daarnaast dalen de aanlegkosten voor nieuwe verlichting. Sinds een aantal jaren werd nieuwe verlichting dynamisch uitgevoerd waarbij de lichtintensiteit naar 20% werd verlaagd bij lagere intensiteiten. Na invoering van de nieuwe maatregel kan weer worden gekozen voor niet-dynamische verlichting (waarbij niet tussen verschillende lichtniveaus kan worden geschakeld) die goedkoper is.

Vergelijking van de maatregel met de huidige systematiek

De systematiek van de maatregel komt grotendeels overeen met de huidige aanpak voor in- en uitschakelen in en langs natuurgebieden. Deze systematiek zal mogelijk landelijk worden ingevoerd, maar de uitkomsten van deze studie en andere overwegingen kunnen nog tot een andere invulling leiden. De huidige systematiek buiten natuurgebieden is in de meeste gevallen de toepassing van conventionele verlichting die de hele nacht brandt. Bij nieuwe aanleg werd gekozen voor dynamische verlichting die afhankelijk van de intensiteit naar een lichtniveau van 20% werd verlaagd. Voor zover al dynamische verlichting is aangelegd kon deze overigens door technische problemen in veel gevallen alleen worden ingezet als conventionele verlichting. Gedurende de periode waarover voor deze studie ongevallen zijn geanalyseerd (2005-2009) heeft dynamische verlichting nauwelijks een rol gespeeld. Dynamische verlichting wordt daarom buiten beschouwing gelaten in dit rapport.

1.2 Doel onderzoek en afbakening

Het doel van dit onderzoek is om de veiligheidseffecten in te schatten van de maatregel "verlichting uit bij lage verkeersintensiteiten" voor autosnelwegen. De effecten worden uitgedrukt in doden en ernstig gewonden om aan te sluiten op de nationale doelstelling voor verkeersveiligheid. Voor zover mogelijk zal een onderscheid naar verschillende omstandigheden worden gemaakt en er worden enkele invoeringsscenario's doorgerekend om de verdere invulling van en de besluitvorming over de maatregel te ondersteunen.

Dit rapport gaat uitsluitend in op de objectieve veiligheidseffecten uitgedrukt in aantallen slachtoffers en niet op andere aspecten die eveneens relevant kunnen zijn bij de besluitvorming zoals subjectieve veiligheid, acceptatie en haalbaarheid.

1.3 Leeswijzer

Centraal bij de invulling van de maatregel staat de koppeling aan de verkeersintensiteit. In hoofdstuk 2 komt literatuur over de invloed van verlichting op de rijtaak aan bod waarbij er o.a. aandacht is geschonken aan de relatie met de verkeersintensiteit. In hoofdstuk 3 komen ongevalstudies aan bod die in en buiten Nederland zijn verricht om het effect van verlichting op de verkeersveiligheid in te schatten. In hoofdstuk 4 wordt een studie beschreven die tot doel heeft om het aantal slachtoffers per voertuigkilometer bij duisternis in verhouding tot bij daglicht op verlichte wegvakken te vergelijken met de dezelfde ratio op onverlichte wegvakken. In hoofdstuk 5 worden de effecten van de maatregel geschat voor verschillende varianten. In hoofdstuk 6 worden enkele conclusies en aanbevelingen beschreven.

2 Literatuur over het effect van verlichting op de rijtaak

Omdat licht de visuele waarneming ondersteunt en omdat de rijtaak voor een groot deel visueel is, wordt vaak verondersteld dat verlichting de rijtaak ondersteunt. In de literatuur worden de volgende bijdragen van verlichting aan de uitvoering van de rijtaak genoemd (Schreuder, 1993; Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde, 1990; Kaptein, Alferdinck en Van der Horst, 1995):

1. het volgen van het wegverloop: het wegverloop is beter zichtbaar doordat de weg en een deel van de omgeving wordt verlicht. Bij een goede opstelling van de lampen kan ook uit de verlichting zelf het wegverloop globaal worden ingeschat.
2. het volgen van ander verkeer: doordat de weg, de wegomgeving en de voertuigen op de weg worden verlicht is de plaats en (relatieve) snelheid van andere verkeersdeelnemers beter in te schatten. Daarnaast wordt verblinding door tegenliggers verminderd. Onder het volgen van ander verkeer kan ook het waarnemen van een stilstaand voertuig worden gerekend.
3. Het opmerken van obstakels op de weg zoals afgefallen lading.
4. Het waarnemen van verkeersborden en wegwijzers.

In dit hoofdstuk wordt de bijdrage van verlichting aan de uitvoering van de rijtaak verder verkend. De derde en vierde taak blijven grotendeels buiten beschouwing in dit hoofdstuk. Het aantal geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden bij botsingen met losse voorwerpen op autosnelwegen bij duisternis was slechts twee per jaar in de periode van 2005 tot en met 2009. De eisen aan het reflecterend vermogen van wegwijzers in de Richtlijn Bewegwijzering zijn zodanig geformuleerd dat deze bij duisternis met het licht van autokoplampen tijdig leesbaar zijn (CROW, 2005).

2.1 Het volgen van het wegverloop

Het volgen van het wegverloop en de stuurtaak kunnen worden beschreven met het model van Donges (zie onderstaand tekstkader). Het model komt erop neer dat de bestuurder zicht op korte afstand voor het voertuig nodig heeft voor directe koerscorrecties om het voertuig binnen de belijning te houden en 'anticipatiezicht' over een grotere afstand voor anticipatie op veranderingen in het wegverloop. Het Zweedse VTI heeft in een experiment met een rij simulator het rijzicht stapsgewijs opgevoerd, waarbij de belijning telkens over een grotere afstand voor het voertuig zichtbaar werd. Vanaf een 'previewtime' van 2s (ca 65m bij 120 km/uur) verbeterde het koersgedrag niet meer zolang er geen abrupte veranderingen in het wegverloop waren (COST 331, 1999). Twee rijseconden kan worden gehanteerd als minimum voor het zicht over korte afstand voor het koershouden. Voor anticipatie op krappe horizontale bogen, rijstrookbeëindigingen en andere discontinuïteiten is meer rijzicht benodigd. Rumar and Marsh (1998) concluderen dat hiervoor minimaal 5s nodig is (ca 165m bij 120 km/uur).

Wat betekenen de bovengenoemde eisen aan het rijzicht in relatie tot verlichting? Er is in de eerste plaats behoefte aan voldoende rijzicht voor koershouden. De uitkomsten van experimenten in rij simulatoren (Brooks et al., 2005; Owens en Tyrrell, 1999) suggereren dat bestuurders goed koershouden bij lichtniveaus tot ver onder het lichtniveau dat met openbare verlichting en koplampen kan worden bereikt. Met openbare verlichting wordt op autosnelwegen in Nederland een

lichtniveau van rond de 1 cd/m² nagestreefd¹. Bij schemer ligt het niveau grofweg tussen 0,03 cd/m² en 100 cd/m² (Owens en Tyrrell, 1999), bij duisternis eronder en bij daglicht er (ruim) boven. Bij oudere bestuurders verslechtert het koershouden bij lichtniveaus van 0,03 cd/m² en lager (Brooks et al., 2005; Owens en Tyrrell, 1999). Met een goede belijning en koplampen kan een rijzicht van 2 rijseconden worden gegarandeerd dat ook voor oudere bestuurders voldoet. In de tweede plaats is er behoefte aan voldoende rijzicht om op discontinuïteiten en veranderingen in het wegverloop te anticiperen. Hiervoor is scherp zicht nodig, ook wel aangeduid als 'foveaal zicht'. Dit verslechtert bij lagere lichtniveaus ongeacht de leeftijd van de bestuurder. Een rijzicht van 5s wordt met goed onderhouden thermoplast belijning en bij droog weer nauwelijks gehaald. Bij nat weer loopt dit terug tot een afstand van enkele rijseconden die voldoende is voor het koershouden maar onvoldoende voor anticipatie. Om op tijd te kunnen anticiperen blijken verticale elementen zoals reflectorpaaltjes, hectometerpaaltjes en bebakening nodig. Die zijn op grotere afstand zichtbaar zodat een minimum rijzicht van 5s wordt geboden (Rumar and Marsh (1998).

Het stuurtaak-model van Donges

Donges (1978) heeft een model ontwikkeld om de stuurtaak te beschrijven:

1. het stabilisatieniveau: directe koerscorrecties zodat het voertuig op de rijstrook blijft (een 'closed-loop process').
2. het geleidingsniveau: het afleiden van de toekomstige koers uit het wegverloop en het anticiperen daarop gegeven de huidige snelheid en koers (een 'open-loop process').

Volgens Schieber, Schlorholtz, en McCall (2008) is het eerste niveau vooral gerelateerd aan 'ambient vision' terwijl het tweede niveau sterker is gerelateerd aan 'focal vision'. Ambient vision betreft de grotendeels onbewuste verwerking van informatie om in balans te blijven en ruimtelijk te oriënteren tijdens het bewegen. Het berust op informatie uit zowel het centrale als het perifere deel van het gezichtsveld en kan werken bij lagere licht- en contrastniveaus. Dit systeem stelt mensen bijvoorbeeld in staat om bij schemer tussen andere mensen door te manoeuvreren op een perron zonder de blik bewust op alle te passeren mensen en obstakels te fixeren. Bij autorijden berusten de voortdurende onbewuste koerscorrecties om een auto binnen de belijning te houden grotendeels op dit systeem. Focal vision betreft de grotendeels bewuste verwerking van informatie in het centrale deel van het gezichtsveld. Het oog moet op de waar te nemen details worden gefixeerd. Kleinere details kunnen worden verwerkt en voor een goede verwerking is een hoger contrastniveau vereist.

In de literatuur, bijvoorbeeld Godthelp en Riemersma (1982) wordt de oriëntatie op het wegverloop over een grotere afstand voor het voertuig als derde hoofdtaak onderscheiden. Een overzicht over het wegverloop over grotere afstanden (bijvoorbeeld 1 km) kan de bestuurder helpen om op toekomstige verkeerssituaties te anticiperen, zodat op strategisch niveau een beslissing genomen kan worden om een manoeuvre al dan niet uit te voeren of een bepaalde snelheid te kiezen. Aangezien knooppunten zijn uitgezonderd van de maatregel, wordt deze hoofdtaak verder buiten beschouwing gelaten.

¹ cd/m² geeft de luminantie weer in candela per vierkante meter.

2.2 Het volgen van ander verkeer

Het volgen van ander verkeer, bijvoorbeeld opmerken dat een voorganger remt of dat verderop een voertuig stil staat, berust met name op foveaal zicht. De bestuurder moet de verkeerssituatie bewust scannen en fixeren op andere voertuigen om hun koers en snelheid in te schatten. In termen van het gedragsmodel van Donges (zie tekstkader) gaat het om 'focal vision'. Deze functie verslechtert bij lagere lichtniveaus. In een experiment op een testcircuit moesten proefpersonen voetgangers langs de weg, gevaren zoals overstekende dieren en verkeersborden detecteren bij vier lichtniveaus. De prestaties verslechteren naarmate het lichtniveau terugloopt. Dat geldt voor alle leeftijdsgroepen maar vooral voor oudere automobilisten (Wood, Owens, 2005) (NB Dit is breder dan het volgen van ander verkeer maar berust op dezelfde visuele functies). Het functioneren van 'focal vision' is ook gerelateerd aan de snelheid waarmee op remmende voorliggers wordt gereageerd (Summala, et al, 1998).

Moore en Rumar (1999) hebben studies over de bijdrage van met name autoverlichting aan het volggedrag samengevat. Overdag zijn bestuurders goed in staat om de afstand tot andere voertuigen te schatten uit het zichtbare deel van de weg tussen het eigen en een ander voertuig en de 'visuele hoek' van de achterkant van dat voertuig. Naarmate een ander object dichterbij komt, wordt de visuele hoek die een voertuig omspant groter. Ook bij brandende straatverlichting is tijdens duistere uren het deel van de weg tot andere voertuigen en de achterkant van andere voertuigen redelijk zichtbaar. Bij daglicht en brandende straatverlichting blijken achterlichten van voertuigen de afstandschatting tot voorliggers dan ook niet te verbeteren (Fisher en Hall, 1978).

Bij duisternis en zonder straatverlichting berust het schatten van afstand en naderingssnelheid grotendeels op de (verandering in) visuele hoek tussen de twee achterlichten van de voorligger en de verandering in de waargenomen lichtintensiteit van de achterlichten (Parker, 1964). Bij een hogere verkeersintensiteit kunnen zonder openbare verlichting problemen optreden bij het overzien van het verkeer. Als een bestuurder twee rode achterlichten ziet is niet altijd direct duidelijk om wat voor voertuig het gaat en voertuigen kunnen elkaar gedeeltelijk afdekken zodat maar één achterlicht zichtbaar is (Fisher en Hall, 1978). Een andere aanwijzing dat openbare verlichting een rol vervult bij hogere verkeersintensiteiten, zij het minder aan veiligheid gerelateerd, is de capaciteitsverhoging door openbare verlichting. Volgens Coevorden et al. (1998) bedraagt die 2,5%.

2.3 Snelheidsgedrag

In studies op basis van meetlusdata en geïnstrumenteerde voertuigen wordt gevonden dat de invoering van verlichting leidt tot een toename van de gemiddelde snelheid van 1 tot 2 km/uur (Folles, et al., 1999; Hogema en Kaptein 1998; Hogema, et al., 2005; Assum, et al., 1999). Regen heeft op een onverlichte weg een duidelijke verlaging van de rijsnelheid tot gevolg (5 tot 10 km/uur). Bij een verlichte weg is de snelheidsverlaging bij regen gemiddeld 3 km/uur minder dan bij een onverlichte weg. Als echter een verlichtingsniveau van 20% wordt toegepast is de snelheidsverlaging bij regen bijna net zo groot als op een onverlichte weg. Verder blijkt het aantal bestuurders dat korte volgtijden aanhoudt iets hoger bij een normaal lichtniveau dan wanneer een verlichtingsniveau van 20% wordt toegepast (Folles, et al., 1999).

Het effect op snelheid lijkt verder beïnvloed te worden door de intensiteit. Enige jaren geleden voerde TNO twee experimenten met uit met geïnstrumenteerde voertuigen waarbij de verlichting ten behoeve van het experiment handmatig werd aan en uitgezet. In de eerste fase is alleen gemeten bij lage intensiteiten, ruim na de avondspits. Daarbij werd door het aanzetten van de verlichting een snelheidsverhoging van 2 km/uur gevonden. In de tweede fase werd gemeten in een periode waarin verkeersintensiteit een grote spreiding vertoonde: van zeer druk (net na de congestie van de avondspits) tot en met vrij rustig later op de avond. Hierbij werd geen effect van openbare verlichting op de snelheid gevonden.

2.4 Discussie

Op autosnelwegen lijkt openbare verlichting een extra bijdrage te hebben bij krappe horizontale bogen en discontinuïteiten waar een groter rijzicht wenselijk kan zijn om in een vroeg stadium te anticiperen. In een 'standaard autosnelwegsituatie' is het de vraag of openbare verlichting een toegevoegde waarde voor wat betreft het volgen van het wegverloop. Met de koplampen van voertuigen kan waarschijnlijk voldoende rijzicht worden gegarandeerd door een combinatie van belijning en bebakening. Daarnaast leidt verlichting tot een snelheidsverhoging waardoor de ernst van de afloop van ongevallen kan toenemen. Eventuele beperkte positieve effecten op het koershouden kunnen daardoor teniet worden gedaan.

Openbare verlichting lijkt een toegevoegde waarde te hebben voor het volgen van en anticiperen op ander verkeer. Foveaal zicht dat hiervoor nodig is verslechtert snel bij lagere lichtniveaus wat deels kan worden ondervangen met openbare verlichting. Doordat het deel van de weg tot voorliggers en de achterkant van voertuigen beter zichtbaar zijn kunnen de relatieve positie en snelheid sneller en preciezer worden ingeschat. Deze voordelen zullen nauwelijks tot uiting komen als er weinig verkeer op de weg is.

Op basis van de literatuurstudie zijn de volgende verwachtingen geformuleerd in relatie tot verkeersintensiteiten en het effect van verlichting:

- I. Verlichting heeft bij duisternis *geen* effect op het aantal doden en ziekenhuisgewonden per voertuigkilometer bij lage verkeersintensiteiten
- II. Verlichting heeft bij duisternis *wel* een effect op het aantal doden en ziekenhuisgewonden per voertuigkilometer bij gemiddelde tot hogere verkeersintensiteiten

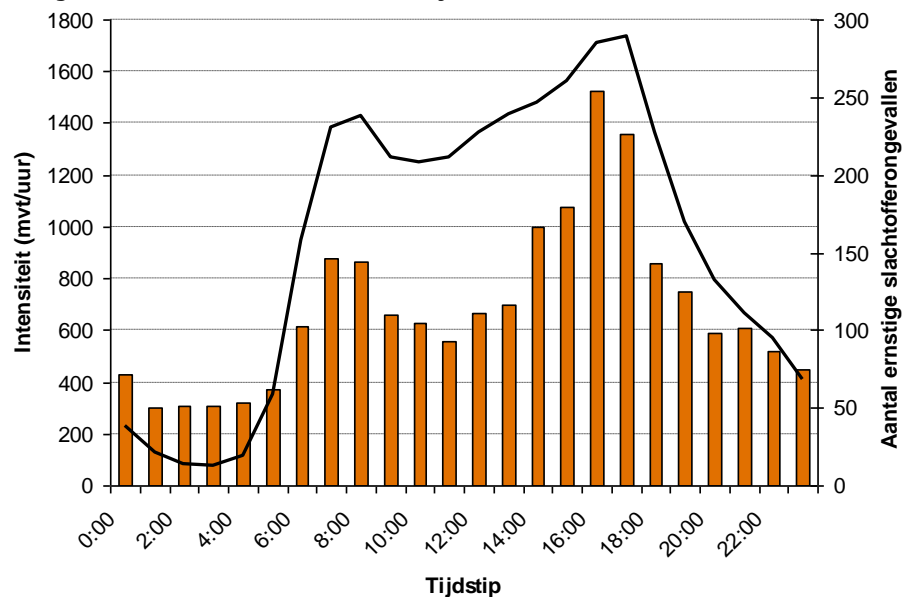
In de ongevalstudie in hoofdstuk 4 zal stapsgewijs worden gezocht of er een grens aan te wijzen is waaronder het effect van verlichting afneemt.

3 Literatuur over het effect van verlichting op verkeersveiligheid

Dit hoofdstuk beschrijft literatuur over de relatie tussen verkeersveiligheid en de aanwezigheid van openbare verlichting. Eerst komt de relatie tussen de verkeersveiligheid en het ongevalrisico bij duisternis op rijkswegen aan bod.

3.1 Ongevalrisico bij daglicht en bij duisternis

In het project Veilig over Rijkswegen 2009 zijn de risico's bij duisternis op rijkswegen in beeld gebracht (Rijkswaterstaat, 2010). In figuur 3.1 zijn de verdeling van geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden en de verdeling van verkeersintensiteiten (afkomstig uit INWEVA) op het Rijkswegennet uitgezet tegen het uur van de dag. Dit is zonder onderscheid naar aanwezigheid van verlichting. Het aantal ernstige slachtofferongevallen in de nacht (22:00-07:00) is in relatie tot de verkeersintensiteit hoog. Dit is te zien aan het feit dat de intensiteit sterker is verlaagd dan het aantal slachtoffers tijdens deze uren.



Figuur 3.1 Aantal ernstige slachtofferongevallen naar tijdstip in de periode 2007-2009 op het Rijkswegennet (alle rijkswegen inclusief N-wegen; intensiteit per richting)

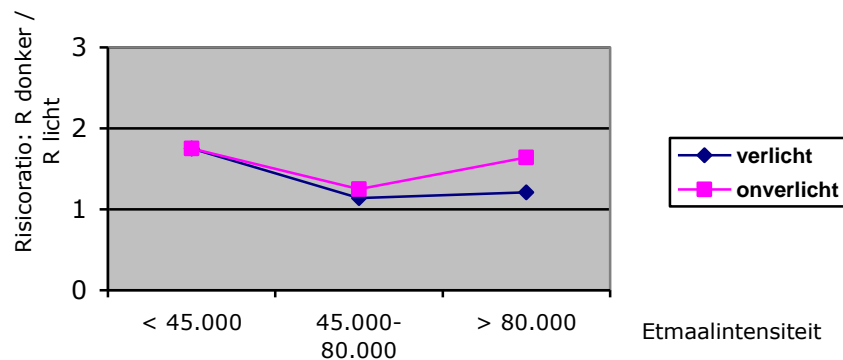
Het slachtofferrisico is verhoogd bij duisternis doordat de visuele waarneming onder die omstandigheden minder goed functioneert, maar ook andere factoren spelen een rol. Elvik (2009) noemt bijvoorbeeld alcoholgebruik, vermoeidheid, hoge snelheden en verminderd gordelgebruik.

3.2 Effecten van verlichting op ongevallen in Nederland

Onderzoek op autosnelwegen in Nederland

Op basis van geregistreerde ongevallen (inclusief ongevallen met uitsluitend materiële schade) in de periode 1989-1991 heeft Vis (1993) het effect van verlichting op autosnelwegen onderzocht. Om de invloed van versturende variabelen uit te sluiten heeft hij het effect uitgedrukt in een risicoratio, namelijk het ongevalrisico (ongevallen per miljoen voertuigkilometers) bij duisternis gedeeld door het ongevalrisico (inclusief ongevallen met uitsluitend materiële schade) bij daglicht. Hierbij werden ongevallen bij knooppunten en bij wegwerkzaamheden buiten beschouwing gelaten.

De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.2. Hieruit valt af te leiden dat de risicoratio op verlichte wegvakken lager is dan op onverlichte wegvakken. Dit effect treedt op bij gemiddelde maar met name bij hogere intensiteiten. Als geen onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende intensiteitsklassen ligt de risicoratio op verlichte wegvakken gemiddeld 22% lager dan op onverlichte wegvakken. Ook het niveau van de verlichting is onderzocht. Over het effect van het lichtniveau is geen harde conclusie getrokken, maar het lijkt er op dat het risico bij duisternis sterker afneemt naarmate het lichtniveau hoger is.



Figuur 3.2 Verschillen in nacht/dag risicoratio (ongevallen per voertuigkm bij duisternis gedeeld door ongevallen per voertuigkm bij daglicht) op autosnelwegen naar aanwezigheid van verlichting

Een positief effect van verlichting op autosnelwegen werd in Nederland eerder gevonden door Beukers en door Tan. Uit de nacht/dag-verhoudingen van ongevalsrisico's schatte Beukers (1971) dat op verlichte wegvakken 's nachts 18% minder ongevallen gebeuren. In de voor-na-studie van Tan (1975) op Rijksweg 16 werd een effect van 22% gevonden (Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde, 1991).

Het meeste recente onderzoek naar het effect van verlichting op autosnelwegen is uitgevoerd door Wanvik (2007; 2009). Volgens Elvik (2009) kent deze studie verschillende methodologische zwakheden. Het meest zwaarwegende probleem is dat in deze studie gebruik wordt gemaakt van onbetrouwbare gegevens over de aanwezigheid van verlichting. De aanwezigheid daarvan is bepaald met de verkeersongevallenregistratie, BRON. Deze geeft daar met name bij daglicht geen betrouwbaar beeld van. Voor de voorliggende studie konden de infrastructuurkenmerken die door Rijkswaterstaat zijn vastgelegd worden vergeleken met de aanwezigheid van verlichting zoals geregistreerd in BRON. Het

blijkt dat in BRON voor ongevallen bij daglicht op onverlichte wegvakken in ongeveer de helft van de gevallen 'niet brandend' in plaats van 'geen' is geregistreerd. Bij verlichte wegvakken komt het voor dat 'geen' in plaats van 'niet brandend' is ingevuld. Aangezien de analyses van Wanvik (2007) geen rekening houden met deze onbetrouwbaarheid, zijn de uitkomsten niet in dit rapport opgenomen. In de ongevalstudie die wordt gepresenteerd in hoofdstuk 4 wordt geen gebruik gemaakt van het kenmerk 'aanwezigheid openbare verlichting' in BRON, maar wordt gebruik gemaakt van de gegevens van Rijkswaterstaat.

Onderzoek op niet-autosnelwegen in Nederland

Schreuder (1990) heeft onderzoek verricht naar het effect van de aanwezigheid van en het niveau van de verlichting op niet-autosnelwegen, waarbij het hoofdzakelijk wegen met een geslotenverklaring betrof met maximumsnelheden die varieerden van 70 tot 100 km/uur. Er zijn geregistreerde ongevallen (inclusief ongevallen met uitsluitend materiële schade) in de periode 1984-1988 onderzocht. Vanwege het ontbreken van cijfers over verkeersintensiteiten is er vanuit gegaan dat de verhouding tussen de verkeersintensiteit bij duisternis en daglicht gemiddeld vergelijkbaar zouden zijn tussen wegvakken met en zonder verlichting.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.1. Uit de uitkomsten valt af te leiden dat wegvakken die worden verlicht met een hogere lichtintensiteit een lagere risicoratio kennen. Schreuder geeft aan dat de studie geen robuuste uitspraken mogelijk maakt voor de vergelijking met onverlichte wegvakken, maar dat er aanwijzingen zijn dat het risico op een onverlichte weg niet veel hoger licht dan op een weg die wordt verlicht met het laagste lichtniveau.

Tabel 2.1 Verschillen in ongevalsrisico's bij duisternis op niet-autosnelwegen naar aanwezigheid of afwezigheid van verlichting (Schreuder, 1990)

Wegdekkluminantie (cd/m ²)	Ratio ongevallen bij duisternis / totaal aantal ongevallen
< 0,4	0,59
0,4-0,73	0,37
>0,73	0,26

3.3

Botsingen met lichtmasten

Schreuder (1990) heeft onderzocht of lichtmasten een rol spelen bij ongevallen op niet-autosnelwegen. Lichtmasten bleken bij circa 4% van de geregistreerde ongevallen een rol te spelen. Hieruit concludeerde hij dat de invloed van lichtmasten op de verkeersveiligheid niet mag worden genegeerd, maar dat de invloed niet zo groot is dat de gunstige uitwerking van de aanwezigheid van verlichting op de verkeersveiligheid te niet wordt gedaan. Er mag worden verwacht dat lichtmasten bij ongevallen op autosnelwegen een kleinere rol spelen dan op niet-autosnelwegen omdat verlichting veelal is geplaatst in de middenberm waar de masten zijn afgeschermd door een geleideconstructie. In specifieke situaties zoals verbindingsbogen is dat niet het geval. Daar kan worden gekozen voor een afbreekconstructie, maar ook in dat geval brengt een aanrijding risico's op letsel met zich mee.

3.4 Effecten van verlichting op ongevallen in buitenlands onderzoek

Er is de afgelopen decennia internationaal veel onderzoek verricht naar het effect van verlichting. De meest betrouwbare aanpak is een evaluatie van de verandering van de verkeersveiligheid na het aanbrengen van verlichting. Door de risicoverandering na het realiseren van de verlichting te vergelijken met de risicoverandering op vergelijkbare wegvakken waar geen verandering optreedt kan het effect worden vastgesteld, ofwel een voor-na-studie met referentiemeting. Elvik (2009) heeft een meta-analyse uitgevoerd op de resultaten van effectstudies, deels studies met een voor-na-design, en deels studies waarbij verlichte en onverlichte wegvakken zijn vergeleken. De resultaten zijn samengevat in tabel 2.2.

Verlichting draagt bij aan een reductie van het aantal letselongevallen op autosnelwegen en niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom, maar deze reducties zijn niet significant. Wel zijn significante effecten gevonden op specifieke typen letselongevallen. Het aantal kopstaartbotsingen en het aantal kruispuntongevallen daalt significant. Dat het totale aantal letselongevallen niet significant daalt komt waarschijnlijk doordat het aantal enkelvoudige ongevallen stijgt. Die stijging is net niet significant.

Tabel 2.2 Effect op letselongevallen door verlichting (Elvik, 2009; percentages duiden op risicoveranderingen)*

Type ongeval	Effect	Significant
Autosnelwegen		
totaal	-13% / - 4%**	nee
kopstaartongevallen	- 20%	Ja
kruispuntongevallen	- 41%	ja
enkelvoudige ongevallen	+44%	nee
Niet-auto autosnelwegen buiten de bebouwde kom		
totaal	- 14%	nee

* "-" staat voor een risicodaling, "+" voor een risicostijging na het aanbrengen van verlichting

** 13% is exclusief correctie voor publication bias; -4% is inclusief correctie voor publication bias

3.5 Discussie in relatie tot de hypothesen

Enkele van de bevindingen uit dit hoofdstuk zijn relevant in relatie tot de in hoofdstuk 2 geformuleerde hypothesen. Voordelen van verlichting blijken met name op te treden bij wegvakken op autosnelwegen met hogere verkeersintensiteiten. Ook de relaties met verschillende typen ongevallen op autosnelwegen wijzen erop dat verlichting vooral een bijdrage levert aan de veiligheid bij interactie met ander verkeer, bijvoorbeeld omdat het aantal kop-staartbotsingen daalt. Het aantal enkelvoudige ongevallen ligt op verlichte wegvakken juist hoger, hoewel dit verschil niet significant is.

4 Empirisch onderzoek

Dit hoofdstuk beschrijft verschillen tussen verlichte en onverlichte wegvakken op autosnelwegen in relatie tot verkeersintensiteiten op basis van geregistreerde slachtoffers in de periode 2005-2009. Na een beschrijving van de onderzoeksaanpak komen de uitkomsten aan bod. Tenslotte worden de uitkomsten afgezet tegen de in hoofdstuk 2 geformuleerde hypothesen.

4.1 Methodologie en data

Een verschil in ongevalrisico tussen verlichte en onverlichte wegvakken *bij daglicht* is in verschillende onderzoeken gevonden (bijvoorbeeld Vis, 1993). Dit verschil wordt uiteraard niet veroorzaakt door de werking van de verlichting, maar bijvoorbeeld doordat verlichte wegvakken anders zijn ingericht en andere intensiteiten kennen. Als een onderzoeker het effect van verlichting wil vaststellen door risico's bij duisternis te vergelijken zijn dat verstorende variabelen die een betrouwbare vergelijking bemoeilijken. In de literatuur wordt daarom in het algemeen uitgegaan van de risicotoename bij duisternis in vergelijking met bij daglicht, ook wel aangeduid als de 'nacht/dag risicoratiomethode'. Er wordt dan vanuit gegaan dat verstorende variabelen in gelijke mate van invloed zijn bij daglicht en bij duisternis, ofwel in gelijke mate van invloed op de teller en de noemer van de risicoratio (risico bij duisternis gedeeld door risico bij daglicht). Ze hebben dan nauwelijks invloed op de uitkomst van de vergelijking van verlichte met onverlichte wegvakken.

In deze studie wordt de nacht/dag risicoratiomethode toegepast, waarbij de verhouding tussen het risico bij duisternis en bij daglicht wordt bepaald met negatieve binomiale (NB) regressie. Hierbij wordt zowel voor verlichte als onverlichte wegvakken een relatief risico berekend dat uitdrukt hoe sterk het aantal slachtoffers is verhoogd bij duisternis in vergelijking met de situatie bij daglicht. Een voordeel van negatieve binomiale regressie is dat het niet-lineaire verband tussen aantallen slachtoffers en intensiteiten wordt gemodelleerd en dat extra controlevariabelen in het model kunnen worden meegenomen (in dit onderzoek wordt het type verharding als controlevariabele meegenomen). NB regressie gaat uit van het volgende model:

$$\text{Aantal slachtoffers per wegvak} = aI^\beta e^{\sum y_i x_i}$$

Hierin is a een constante, I is de verkeersintensiteit (uitgedrukt in voertuigkilometers op een wegvak), β is de parameter die het verband tussen intensiteit en aantal slachtoffers beschrijft (bij een lineair verband is β gelijk aan 1, maar meestal ligt de waarde onder 1 omdat het aantal slachtoffers minder dan evenredig stijgt naarmate de intensiteit stijgt), x_i zijn de categorieën voor factoren in het model zoals de aanwezigheid van verlichting, y_i zijn per factor te schatten parameters waaruit relatieve risico's kunnen worden berekend (zie Eenink, et al, 2008 voor meer informatie over Accident Prediction Models). Als er in dit hoofdstuk wordt gesproken over een verhoogd aantal slachtoffers wordt bedoeld op een verhoogd relatief risico waarin het effect van expositie is verdisconteerd.

Keuze van wegvakken en selectie van ongevallen

Het onderzoek beperkt zich tot autosnelwegen omdat met name daar vanwege de hoge intensiteiten verlichting wordt geplaatst en met name daar situaties te vinden zijn waarop de maatregel van toepassing kan zijn. Er is uitgegaan van geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden om de resultaten van de studie te kunnen relateren aan de doelstellen voor verkeersveiligheid (in de eindresultaten in hoofdstuk 5 worden ziekenhuisgewonden voor dit doel ook omgerekend in ernstig verkeersgewonden). Er zijn slachtofferaantallen over de jaren 2005 tot en met 2009 geselecteerd zodat het te analyseren aantal voldoende groot is voor statistisch betrouwbare uitspraken. De slachtoffers worden toegedeeld aan duisternis enerzijds en daglicht en schemer anderzijds op basis van het tijdstip van het ongeval waarbij ze gewond raakten volgens het schema in bijlage 0. Schemer wordt hierbij grotendeels tot de lichte periode gerekend omdat het lichtniveau tijdens schemer veelal hoger is dan het lichtniveau dat bij duisternis met openbare verlichting kan worden bereikt. Er is tijdens schemer weinig effect van openbare verlichting te verwachten.

Niet alle typen ongevallen en typen wegvakken zijn relevant voor de onderzoeksvraag. De maatregel verlichting uit bij lage verkeersintensiteiten geldt niet bij situaties met een verhoogde rijtaakbelasting en bij wegvakken in natuurgebieden geldt de maatregel feitelijk al. Om die reden worden de volgende typen ongevallen en wegvakken buiten beschouwing gelaten:

- Ongevallen bij wegwerkzaamheden
- Wegvakken met daarin knooppunten en/of weefvakken

Gedeeltelijk verlichte wegvakken zijn buiten beschouwing gelaten om geheel verlichte en geheel onverlichte wegvakken met elkaar te kunnen vergelijken. Onverlichte wegvakken met alleen verlichting bij discontinuïteiten zoals uitvoegstroken en krappe bogen werden wel in het onderzoek opgenomen, namelijk als onverlicht wegvak. Die locatiespecifieke verlichting valt, zowel op verlichte als onverlichte wegvakken, buiten de invloedssfeer van de maatregel (ook bij lage intensiteiten zal de verlichting op deze wegvakken in werking blijven). Naar schatting wordt door de gekozen aanpak honderd tot tweehonderd kilometers aan autosnelweg buiten beschouwing gelaten die wel binnen de invloedssfeer van de maatregel valt. Hiervoor zal worden gecorrigeerd in hoofdstuk 5 bij het bepalen van de effecten.

Databronnen

In het onderzoek zijn de volgende databronnen gebruikt:

- Er zijn geregistreerde slachtoffers geselecteerd in BRON (Bestand geRegistreerde Ongevallen in Nederland) over de periode 2005 tot en met 2009. In BRON zijn kenmerken geregistreerd die nodig zijn voor dit onderzoek: ongevallocatie, datum en tijd en lichtgesteldheid. BRON wordt gevuld met ongevalgegevens die door de politie worden vastgelegd bij ongevallen.
- Het bestand WEGGEG (weggegevens) is gebruikt voor infrastructuurkenmerken: de aanwezigheid van verlichting, het aantal rijstroken en de eventuele aanwezigheid van Dicht Asfalt Beton (DAB) die als controlevariabele is meegenomen. In WEGGEG worden door Rijkswaterstaat infrastructuurkenmerken vastgelegd.
- MTR+ (meettellusrapportage) voor intensiteiten op de geselecteerde wegvakken onderscheiden naar maand en uur van de dag. In MTR+ worden

intensiteiten geregistreerd (gemiddeld per maand en per uur van de dag) op basis van tellussen. In combinatie met de lengte van wegvakken zijn hieruit voertuigkilometrages per wegvak berekend, onderscheiden naar maand en uur van de dag. In combinatie met het aantal rijstroken is het aantal motorvoertuigtuigen per uur per rijstrook bepaald.

- Om de slachtoffers in BRON en de intensiteiten in MTR+ toe te delen aan licht en duisternis is de tabel gebruikt die is afgebeeld in Bijlage 0.

Voor-na-design versus correlatieve design

De bovenbeschreven aanpak met een vergelijking tussen verlichte en onverlichte wegvakken betreft een correlatieve studieopzet. In theorie zouden de onderzoeksvragen ook benaderd kunnen worden met een voor-na-studie waarbij de nacht/dag risicoratio's voor en na invoering van de maatregel in natuurgebieden worden vergeleken. Onderzoekstechnisch heeft deze aanpak voordelen. Helaas bleken de geregistreeerde aantallen letselslachtoffers te laag om betrouwbare uitspraken mogelijk te maken. De aantallen zijn laag omdat niet alleen geselecteerd wordt op een beperkte lengte aan verlichte wegvakken door natuurgebieden maar ook doordat de maatregel zich tot een deel van de uren bij duisternis beperkt.

4.2 Verlichting op de onderzochte wegvakken

De geselecteerde wegvakken hebben in totaal een lengte van circa 1500 km, ongeveer driekwart van alle autosnelwegen in beheer bij Rijkswaterstaat. Van de onderzochte lengte aan wegvakken is circa 40% voorzien van verlichting, terwijl 57% van de voertuigkilometers op verlichte wegvakken wordt afgelegd.

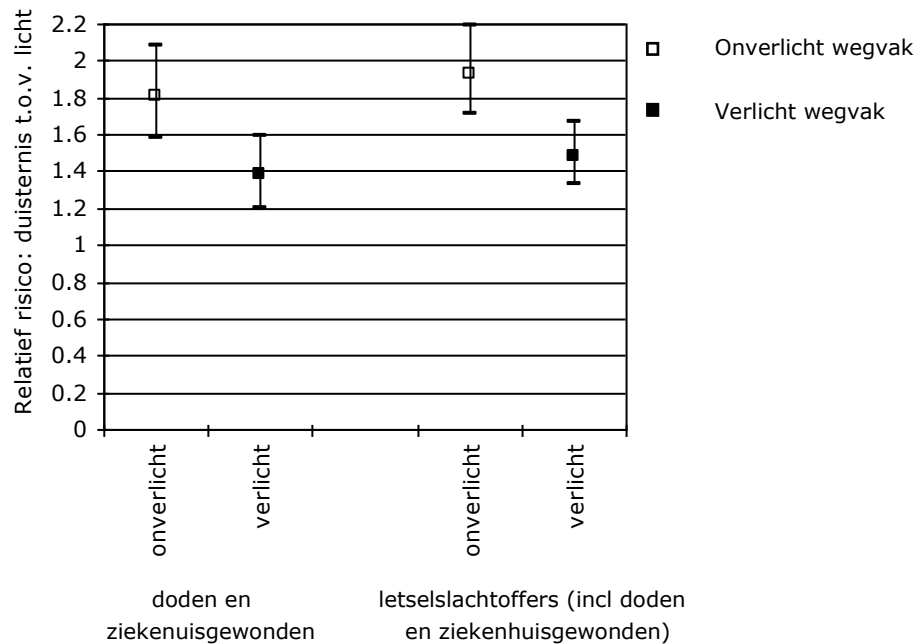
Tabel 4.1 Onderzochte wegvakken

Type ongeval	Aantal wegvakken	Lengte (km)	Voertuigkm (miljoen per etmaal)
Geen verlichting	93	904	45
Wel verlichting	87	613	60
Totaal	180	1517	105

4.3 Effect verlichting onderscheiden naar intensiteitsklassen

Voor verlichte en onverlichte wegvakken is, rekening houdend met intensiteiten, het relatieve risico bepaald voor het aantal geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden en het totaal aantal letselslachtoffers bij duisternis in vergelijking met de situatie bij daglicht, zie figuur 4.1. Het relatieve risico bij duisternis ligt op verlichte wegvakken 23% lager dan op onverlichte wegvakken (de resultaten van regressieanalyse zijn opgenomen in bijlage 1, tabel B1.1), zowel voor doden en ziekenhuisgewonden als voor letselslachtoffers (inclusief doden en ziekenhuisgewonden). De verschillen zijn significant². In de analyses is gecontroleerd voor de aanwezigheid van dicht asfalt beton aangezien dit effect kan hebben op de zichtomstandigheden bij regen, maar deze variabele had geen wezenlijke relatie met de slachtofferaantallen.

² Zie Belia et al, 2005 voor een toelichting bij het toetsen van verschillen tussen betrouwbaarheidsintervallen. Bij een kleine overlap kunnen de verschillen significant zijn.



4.1 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht op verlichte en onverlichte wegvakken (de balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; effecten van verlichting zijn significant bij beide categorieën)

4.4 Effect in relatie tot het aantal motorvoertuigen per strook

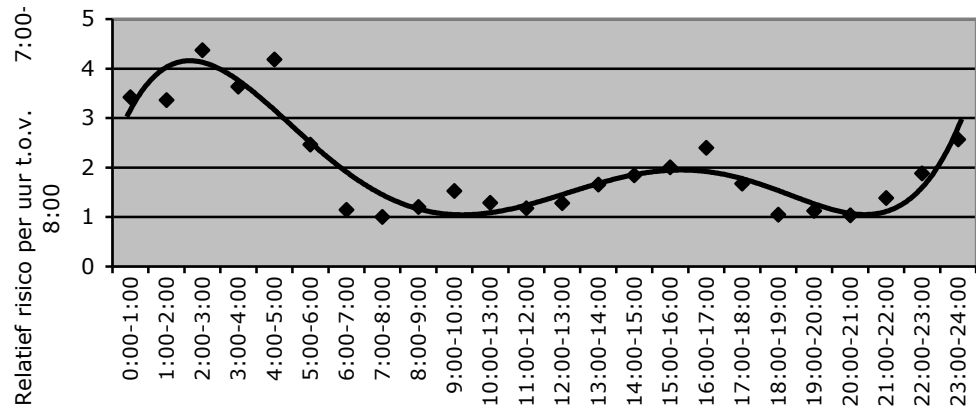
Aanvullend op het gemiddelde effect van verlichting is in het kader van deze studie van belang of het effect verschilt naar gelang het aantal motorvoertuigen per rijstrook per uur. Hiervoor worden twee typen analyses uitgevoerd waarvan de eerste (paragraaf 4.4.1) het beste te relateren is aan intensiteiten en de tweede (paragraaf 4.4.2) de meest betrouwbare inschatting geeft van de grootte van de effecten.

4.4.1 Analyses op uurniveau

Het databestand is uitgesplitst naar doden en ziekenhuisgewonden per wegvak per uur. Voor ieder uur is uit tellusgegevens bepaald wat de intensiteit per uur per rijstrook is. Hiervoor is uitgegaan van de intensiteiten op werkdagen (voertuigkilometers zijn net als voor andere analyses bepaald uit gemiddelden over de hele week). Het effect van verlichting is onderscheiden naar klassen, uitgedrukt in motorvoertuigen per rijstrook per uur. De uren van eenzelfde wegvak worden aan verschillende klassen toegedeeld, waarbij van drukke wegvakken relatief veel uren aan de hoge klasse worden toegedeeld en van de rustige wegvakken relatief veel uren aan de lage klasse. Vanwege deze verstoring moeten de uitkomsten worden geïnterpreteerd als indicatief voor een verschil in effect tussen intensiteitsklassen en kan er geen conclusie worden getrokken over de grootte van het effect van verlichting.

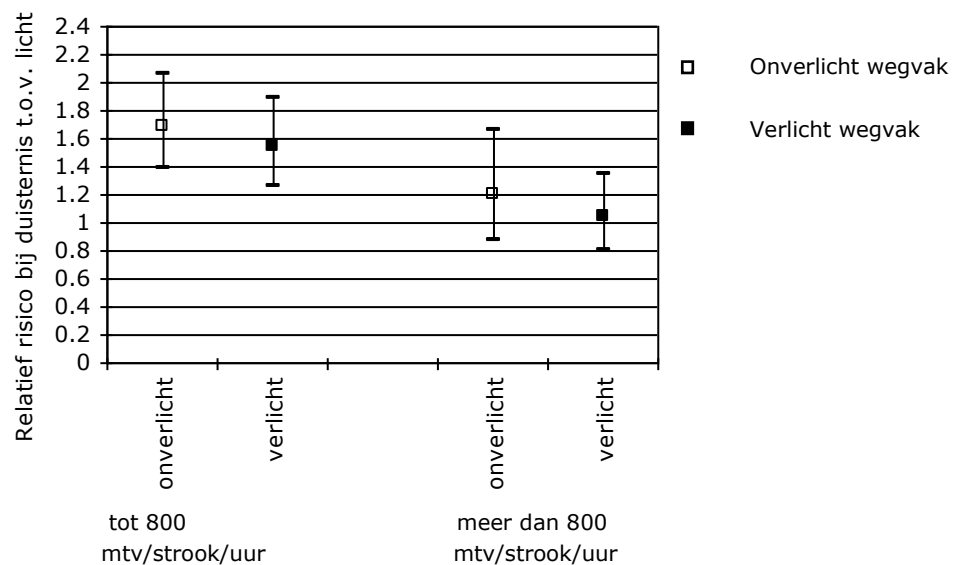
Bij de uitsplitsing naar uren is van belang dat factoren als vermoeidheid en alcoholgebruik sterker zullen spelen tijdens de nachtelijke uren dan tijdens de avond- en ochtenduren. Bij regressie op het aantal doden en ziekenhuisgewonden *per uur* zijn dat verstoringende variabelen. Uit een verkennende analyse zonder uitsplitsing naar de aanwezigheid van verlichting bleek dat het risico het sterkst is

verhoogd in de periode van 23:00 tot 5:00 uur, zie figuur 4.2. Om daarvoor te controleren is een extra variabele 'nachtelijke uren' voor dit tijdvak in de analyse opgenomen.



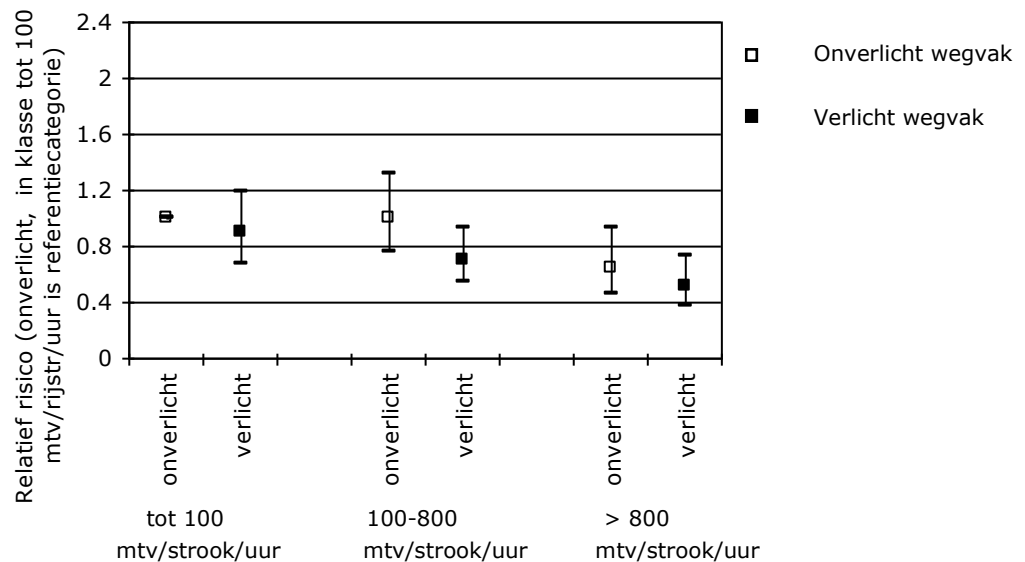
Figuur 4.2 Relatieve risico's voor doden en ziekenhuisgewonden per uur in vergelijking met het uur van 7:00 tot 8:00

De analyse zoals gepresenteerd in paragraaf 4.3 is herhaald met een uitsplitsing in twee klassen voor het aantal motorvoertuigen per rijstrook per uur. Als grens is gekozen voor 800 motorvoertuigen per rijstrook per uur (een grens die tot op heden voor dynamische verlichting wordt gehanteerd). De analyse toont geen overtuigend verschil in effect tussen deze intensiteitsklassen (zie figuur 4.3 en tabel B1.2 en B1.3 in bijlage 1). Het effect in de hoogste klasse blijft ongeveer gelijk als de grens hoger wordt gelegd, bijvoorbeeld bij 1100 motorvoertuigen per rijstrook per uur. Het effect in de laagste klasse neemt daarentegen toe als de grens lager wordt gelegd. Dit is een indicatie dat er een gebied onder de 800 motorvoertuigen per rijstrook per uur is waar het effect bovengemiddeld is.



Figuur 4.3 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht voor doden en ziekenhuisgewonden op verlichte en onverlichte wegvakken onderscheiden naar intensiteitsklasse (balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; de effecten van verlichting zijn niet significant)

Voor de analyse van zeer lage intensiteiten, bijvoorbeeld onder 100 motorvoertuigen per rijstrook per uur, is een ander type analyse nodig omdat deze alleen bij nachtelijke uren voorkomen en er niet kan worden vergeleken met een periode tijdens daglicht. Aanvullend is daarom een regressieanalyse uitgevoerd voor uitsluitend de uren bij duisternis waarbij de risico's op verlichte en onverlichte wegvakken direct met elkaar worden vergeleken. De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.4. Uit de analyse blijkt dat de effecten het grootst en significant zijn bij intensiteiten tussen 100 en 800 motorvoertuigen per rijstrook per uur en het kleinst bij intensiteiten onder de 100 motorvoertuigen per rijstrook per uur (zie tabel B1.4 en B1.5 in bijlage 1). Als de grens voor de laagste klasse nog iets wordt verlaagd tot 90 motorvoertuigen per rijstrook per uur wordt de grootte van het effect in deze analyse nagenoeg tot nul gereduceerd.



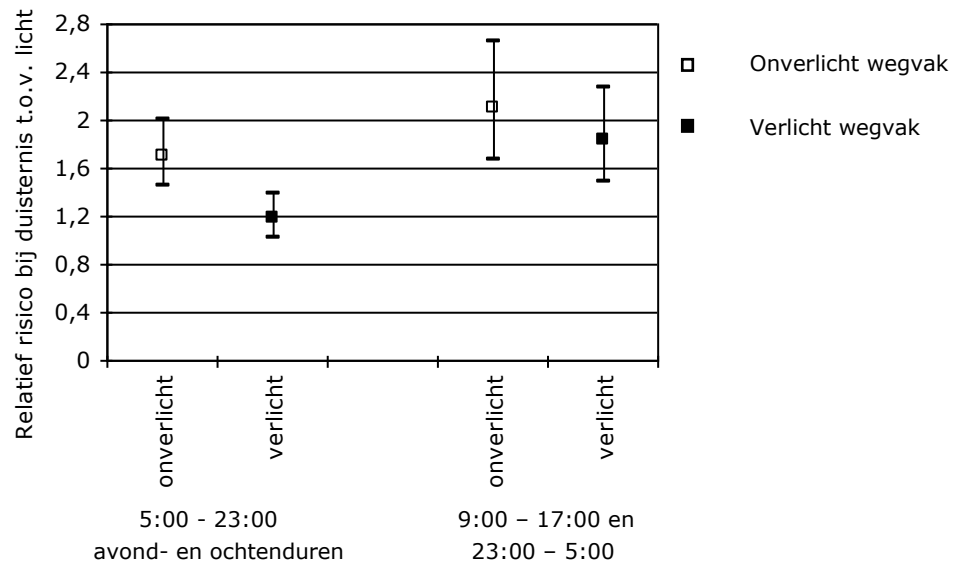
Figuur 4.4 Relatieve risico's op verlichte en onverlichte wegvakken voor doden en ziekenhuisgewonden onderscheiden naar intensiteitsklassen (onverlichte wegvakken met een intensiteit tot 100 mvt/uur/rijstrook vormen de referentiecategorie; de effecten zijn significant in de categorie 100-800 mvt/strook/uur en niet significant bij de andere twee categorieën)

4.4.2 Analyses per tijdvak

Om de grootte van de effecten betrouwbaar in te schatten zijn aanvullende analyses verricht voor twee tijdvakken:

- 5:00 - 23:00 uur: tijdvak zonder nachtelijke uren met hogere intensiteiten tijdens duisternis
- 9:00 - 17:00 en 23:00 - 5:00 uur: tijdvak met nachtelijke uren met lagere intensiteiten bij duisternis

De resultaten zijn weergegeven in figuur 4.5 (zie tabel B1.6 en B1.7 in bijlage 1). Het effect van verlichting is groter dan gemiddeld, namelijk ca 30% en significant, als de nachtelijke uren buiten beschouwing worden gelaten. Het effect is niet significant en kleiner dan gemiddeld, namelijk 13%, tijdens de nachtelijke uren.

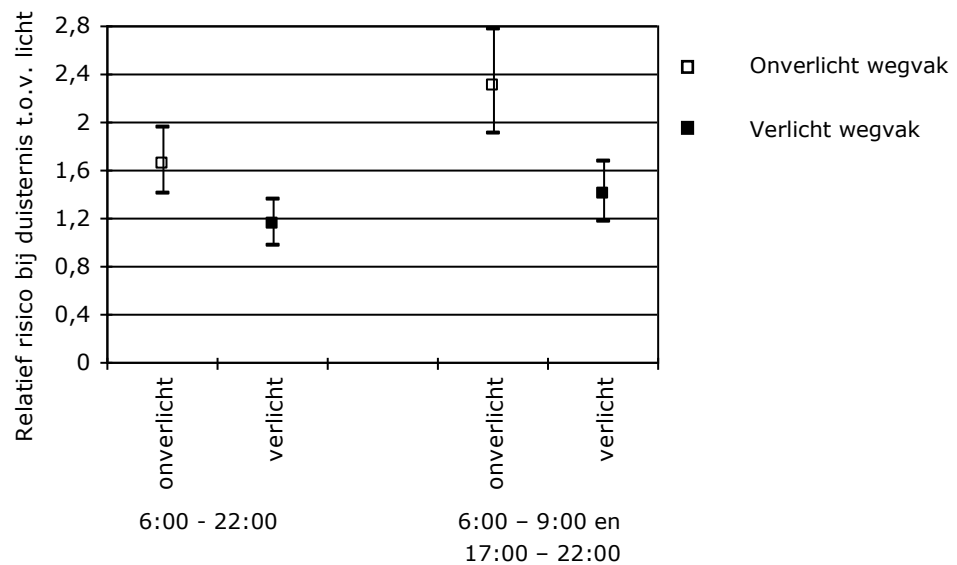


Figuur 4.5 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht (voor doden en ziekenhuisgewonden) op verlichte en onverlichte wegvakken onderscheiden naar tijdvak (balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; het effect van verlichting bij 5:00-23:00 is significant; bij 9:00-17:00 en 23:00-5:00 is het effect niet significant)

Nadere analyses voor de ochtend en avonduren

Een tijdvak voor avond- en ochtenduren kan ook op een andere manier worden onderzocht, namelijk door enkel de uren in beschouwing te nemen waarin de lichtgesteldheid wisselt over de seizoenen (6:00 – 9:00 en 17:00 – 22:00 uur). Hierbij berust het relatief risico bij duisternis t.o.v. bij licht op uren waarin het wisselend over seizoenen zowel licht als donker is. Hierdoor hebben andere factoren die verschillen over de uren geen invloed hebben op de uitkomst. Ter vergelijking is het relatief risico tevens berekend op deze wijze die voor andere analyses in dit hoofdstuk is toegepast, namelijk door de duistere ochtend en avonduren te vergelijken met alle uren waarin het licht is, oftewel door de analyse uit te voeren op het tijdvak van 6:00 tot 22:00 uur. Beide analyses zijn gebaseerd op dezelfde duistere uren, maar de uren bij daglicht die als referentie dienen verschillen. Het resultaat van de twee analyses is weergegeven in figuur 4.6 (zie tabel B1.8 in bijlage 1).

Uitgaande van de eerstgenoemde analyse waarin alleen avond- en ochtenduren onderdeel uitmaken van de analyse (6:00 – 9:00 en 17:00 – 22:00 uur) wordt een significant effect van 39% gevonden. Uitgaande van de tweede analyse op het tijdvak van 6:00 tot 22:00 uur wordt een significant effect van 31% gevonden. Onderzoekstechnisch lijkt de methode waarin alleen avond- en ochtenduren onderdeel uitmaken van de analyse het sterkst omdat daarin duisternis en daglicht op dezelfde uren vergeleken kan worden. Dit duidt erop dat het gevonden effect van verlichting van 31% mogelijk een onderschatting is.



Figuur 4.6 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht (voor doden en ziekenhuisgewonden) op verlichte en onverlichte wegvakken onderscheiden naar tijdvak (balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; de effecten van verlichting zijn significant)

4.5 Effecten naar type ongeval en omstandigheid

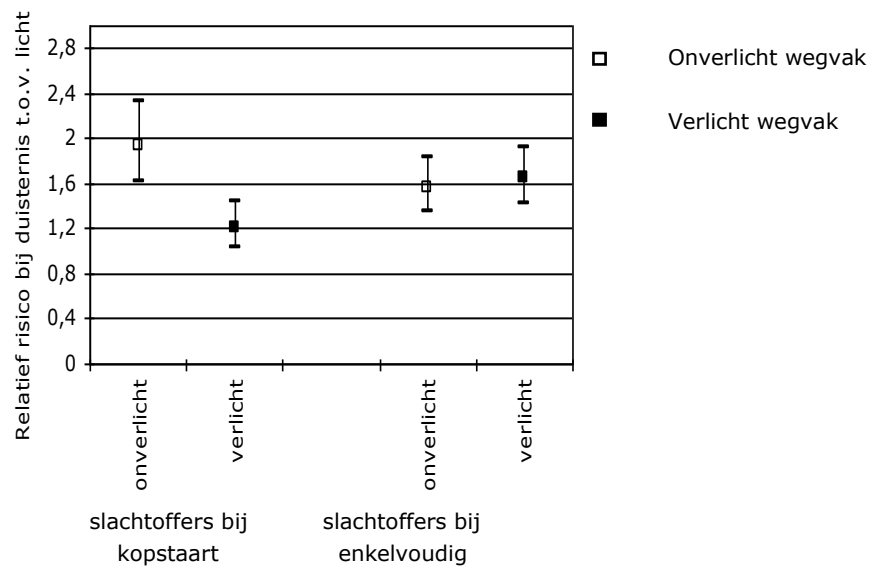
De regressieanalyse zoals gepresenteerd in paragraaf 4.3 is herhaald voor doden en ziekenhuisgewonden bij vier typen ongevallen: enkelvoudige ongevallen, kopstaartbotsingen, ongevallen bij regen en mist ongevallen in bochten. De laatste twee typen zijn interessant als mogelijke uitzondering op de maatregel. De eerste twee typen zijn interessant omdat kopstaartbotsingen vooral voorkomen bij gemiddeld tot hogere intensiteiten, terwijl enkelvoudige ongevallen vaker voorkomen bij zeer lage intensiteiten, zie tabel 4.2. Er is gekozen voor kopstaartbotsingen omdat die ook genoemd worden in de meta-analyse van Elvik (zie tabel 3.2).

Enkelvoudige ongevallen zijn voor deze analyse gedefinieerd als botsingen met vaste voorwerpen zoals geleiderails en bomen en eenzijdige ongevallen (ongevallen waarbij geen botsing plaatsvindt, bijvoorbeeld een voertuig dat over de kop slaat). Kopstaart botsingen vormen een categorie in BRON, net als ongevallen in bochten. Slecht weer is gedefinieerd als regen, mist, sneeuw en hagel. De resultaten van de analyse zijn weergegeven in figuur 4.7 en 4.8 (zie ook tabel B1.9 in bijlage 1). Het effect van verlichting op slachtoffers bij kopstaartbotsingen is 37% groter dan gemiddeld. Het aantal enkelvoudige ongevallen ligt bij duisternis op verlichte wegvakken iets hoger, maar het verschil is niet significant. De effecten op doden en ziekenhuisgewonden bij slechte weersomstandigheden en bij ongevallen in bochten zijn met 54 en 43% groter dan gemiddeld, maar alleen het verschil bij slechte weersomstandigheden is significant.

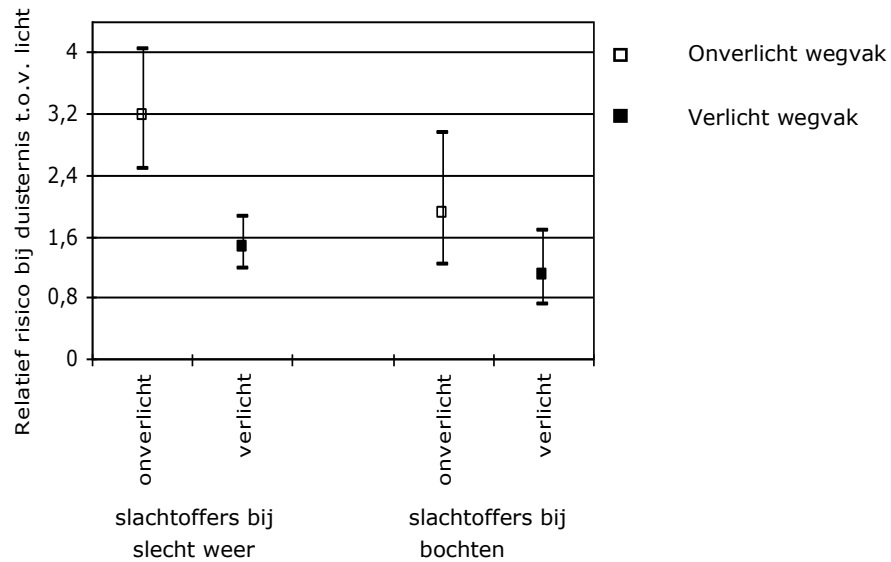
Tabel 4.2 Verdeling van doden en ziekenhuisgewonden naar ongevaltypen (DVS/BRON 2005-2009)*

Intensiteit in motorvoertuigen per uur per rijstrook	Totaal Doden en ziekenhuisgewonden bij:				
	aantal	slecht weer	bocht	kopstaart	enkelvoudig
0 - 100	228	21	26	65	136
100 - 200	166	6	24	43	85
200 - 400	308	32	27	94	158
400 - 800	644	20	56	181	327
800 - 1100	543	29	47	185	230
meer dan 1100	775	67	48	399	235
Totaal	2664	175	228	967	1171
Percentage van het totaal per klasse					
0 - 100		9%	11%	28%	60%
100 - 200		4%	14%	26%	51%
200 - 400		10%	9%	31%	51%
400 - 800		3%	9%	28%	51%
800 - 1100		5%	9%	34%	42%
meer dan 1100		9%	6%	51%	30%
Totaal		7%	9%	36%	44%

* De ongevallen in de tabellen overlappen elkaar, alleen kopstaart en enkelvoudig zijn gescheiden categorieën



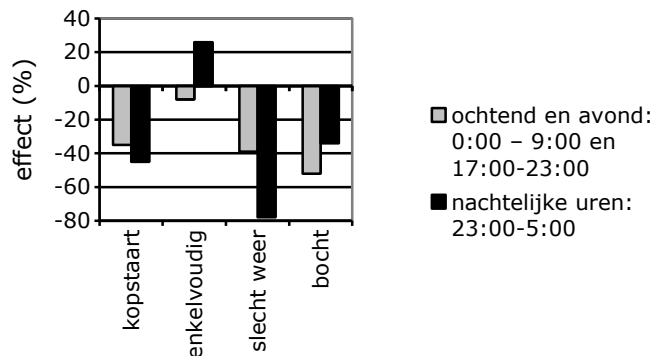
Figuur 4.7 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht voor doden en ziekenhuisgewonden bij kopstaart en enkelvoudige ongevallen (balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; het effect van verlichting is alleen significant bij kopstaart)



Figuur 4.8 Relatief risico bij duisternis t.o.v. bij daglicht voor doden en ziekenhuisgewonden bij slecht weer en in bochten (balkjes tonen het 95%-betrouwbaarheidsinterval; het effect van verlichting is alleen significant bij slecht weer)

Zoals blijkt uit de analyses in paragraaf 4.4 verschilt het effect van verlichting bij duisternis tussen de ochtend- en avonduren (5:00 – 9:00 en 17:00-23:00 uur) en de nachtelijke uren (23:00-5:00 uur). Om die reden zijn de effecten van verlichting per ongevaltype onderscheiden naar beide tijdvakken, zie figuur 4.9 (en tabel B1.10 en B1.11 in bijlage 1). Gedurende de ochtend- en avonduren zijn er bij verlichting significant minder slachtoffers bij kopstaartbotsingen (-35%), terwijl er weinig verschil is bij enkelvoudige ongevallen (lichte niet significante afname). Daarnaast is het effect op het aantal slachtoffers bij ongevallen tijdens slechte weersomstandigheden en in bochten groter dan gemiddeld (-39% respectievelijk -52%), maar alleen het effect bij slecht weer is significant. Bij de nachtelijke uren treden er verschuivingen op in de effecten. De gunstige effecten bij kopstaartbotsingen en bij slechte weersomstandigheden zijn nog sterker dan in de ochtend en avonduren. Het aantal doden en ziekenhuisgewonden bij enkelvoudige ongevallen ligt 26% hoger. Dit verschil is niet significant, maar het is in overeenstemming met de stijging van die in buitenlands onderzoek is gevonden (Elvik, 2009).

Opvallend is dat bij nachtelijke uren bij verlichting het aantal enkelvoudige ongevallen is verhoogd terwijl het aantal ongevallen in bochten is verkleind. Op autosnelwegen raken 85% van de doden en ziekenhuisgewonden bij ongevallen in bochten gewond bij enkelvoudige ongevallen (BRON 2005-2009). Hoewel de verschillen bij beide typen ongevallen niet significant zijn, kan dit worden geïnterpreteerd als een indicatie dat verlichting op normale wegvakken averechts werkt, maar wel helpt om enkelvoudige ongevallen in horizontale bochten te voorkomen. De analyse voor nachtelijke uren is herhaald voor enkelvoudige ongevallen exclusief enkelvoudige ongevallen in bochten. In dit geval wordt er een stijging van 40% van het aantal enkelvoudige ongevallen gevonden.



Figuur 4.9 Effecten van verlichting op het aantal doden en ziekenhuisgewonden bij drie typen ongevallen

Uit de combinatie van de gevonden effecten bij nachtelijke uren en de verdeling van de slachtoffers bij verschillende ongevaltypen (zie tabel 4.2) kan worden berekend welk effect te verwachten is bij de zeer lage intensiteiten die enkel bij de nachtelijke uren voorkomen. De effecten zijn bekend voor doden en ziekenhuisgewonden bij enkelvoudige ongevallen (60% van de slachtoffers; effect verlichting +26%) en bij kopstaartbotsingen (28% van de slachtoffers; effect verlichting -45%). Er is een extra berekening uitgevoerd om het effect bij de resterende 12% van de doden en ziekenhuisgewonden te bepalen. Dat effect bleek circa 13%, oftewel gelijk aan het gemiddeld effect van verlichting in de nachtelijke uren. Het totaaleffect van verlichting bij intensiteiten onder de 100 motorvoertuigen per uur kan worden geschat op: $(60\% \times (1+0,26) + 28\% \times (1-0,45) + 12\% \times (1-0,13)) - 100\% = +1\%$. Volgens deze schatting valt er nauwelijks een positief effect te behalen met verlichting gedurende de nachtelijke uren. De berekening kan niet naar hogere intensiteiten worden doorgetrokken omdat deze ook tijdens de avond- en ochtenduren voorkomen waarvoor grotere effecten zijn gevonden.

4.6 Discussie over de gevonden effecten

In deze paragraaf worden de resultaten van deze studie geïnterpreteerd en geïntegreerd met de in de in hoofdstuk 2 en 3 beschreven literatuur.

De grootte van het gemiddelde effect van verlichting

Zoals gesteld in paragraaf 4.1 is de nacht/dag risicoratiomethode de geijkte methode om te bepalen hoe groot het overall effect van verlichting is. Bij wegvakken met verlichting ligt het aantal geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden per voertuigkilometer gemiddeld 23% lager. Het gevonden effect is nagenoeg gelijk aan het effect van 22% dat Vis (1993) eerder met een vergelijkbare methode vond voor autosnelwegen in Nederland.

De opzet van deze studie en die van Vis (1993) is correlatieel: bestaande wegvakken met en zonder verlichting worden met elkaar vergeleken. Voor de meeste versturende variabelen is gecontroleerd door met de nacht/dag risicoratio te werken. Daarmee kunnen veel maar niet alle versturende factoren worden uitgesloten. Zo is het mogelijk dat het strooibeeld op onverlichte wegvakken van mindere kwaliteit is en dat gladheid vooral een rol speelt bij duisternis. Dit kan doorwerken in de nacht/dag risicoratio. In een Nederlandse voor-na-studie op Rijksweg 16 werd een effect van 22% gevonden (Tan, 1975), wat nauwelijks afwijkt van het effect dat in deze correlatieve studie is gevonden. Het lijkt erop dat een andere studieopzet niet tot een wezenlijk andere uitkomst leidt.

Elvik (2009) vond in zijn meta-analyse een reductie van slechts 4% (13% zonder correctie voor publication bias). Dat is lager dan de 23% die in deze en andere Nederlandse studies is gevonden. Dat kan te maken hebben met per land verschillende criteria voor de verkeersintensiteit waarbij verlichting wordt aangelegd. Zo adviseert AASHTO (2005) in de Verenigde Staten openbare verlichting op autosnelwegen door en nabij stedelijke gebieden met een intensiteit vanaf 30.000 motorvoertuigen per etmaal. Frankrijk past vanaf 50.000 motorvoertuigen per etmaal altijd openbare verlichting toe en vanaf 25.000 als knooppunten minder dan 5km uit elkaar liggen. Tot enige tijd geleden werden in België vrijwel alle autosnelwegen verlicht³. Rijkswaterstaat heeft 1,500 motorvoertuigen per rijstrook per uur in de spits als ondergrens voor de aanleg van verlichting, wat voor een autosnelweg met twee maal twee rijstroken al snel neerkomt op een intensiteit van rond de 70.000 motorvoertuigen per etmaal. In het onderzoek van Vis (1993) werd voor wegen met een etmaalintensiteit onder de 45.000 motorvoertuigen per etmaal nauwelijks een effect van verlichting gevonden (zie figuur 3.2). Het lagere effect van verlichting in andere landen is mogelijk te verklaren doordat daar vaker verlichting wordt aangelegd op autosnelwegen met lagere verkeersintensiteiten.

Het effect van verlichting in relatie tot verkeersintensiteit

Uit de resultaten van de ongevalstudie blijkt dat de relatie tussen openbare verlichting en het aantal slachtoffers samenhangt met de verkeersintensiteit. Bij zeer lage intensiteiten onder de 100 motorvoertuigen per rijstrook per uur heeft verlichting nauwelijks een effect. Dat komt doordat verlichting samenhangt met een verhoogd aantal enkelvoudige ongevallen. Hoewel dit effect in deze studie niet significant is, werd ook in de meta-analyse van Elvik (2009) een bijna significant effect gevonden. Bij zeer lage intensiteiten is circa 60% van de doden en ziekenhuisgewonden het slachtoffer van een enkelvoudig ongeval. Het lijkt erop dat de hoogste effecten van verlichting worden bereikt in het gebied tussen 100 en 800 motorvoertuigen per rijstrook per uur en wat lager is bij hogere verkeersintensiteiten (hoewel dat laatste niet significant is). Deze resultaten ondersteunen de hypothesen die in hoofdstuk 2 zijn geformuleerd. Door de samenhang met intensiteiten liggen de effecten in de nachtelijke uren (23:00 – 5:00) met een niet significante 13% lager dan in de ochtend en avonden (17:00-23:00 en 5:00-9:00 uur), namelijk 30% (of zelfs als de nacht/dag-ratio wordt toegepast bij dezelfde uren).

³ <http://international.fhwa.dot.gov/euroroadlighting/02.cfm>

Het effect van verlichting in relatie tot het type ongevallen

Het effect van verlichting verschilt sterk tussen verschillende typen ongevallen. Verlichting heeft in alle situaties een gunstig effect op het aantal slachtoffers bij kopstaartbotsingen. Dit ondersteunt de in hoofdstuk 2 beschreven theorie dat verlichting een rol vervult bij de interactie tussen verkeer. Daarbij moet wel bedacht worden dat in relatie tot het volgen van ander verkeer ook de categorie van flankongevallen interessant kan zijn. Deze is overigens kleiner dan de categorie kopstaartongevallen. Het aantal slachtoffers bij enkelvoudige ongevallen neemt bij nachtelijke uren toe. Zoals eerder gesteld is deze stijging van 26% niet significant, maar aangezien ook Elvik (2009) in zijn meta-analyse een bijna significante stijging van 40% vond mag enige waarde worden gehecht aan deze uitkomst. Dit ondersteunt de in hoofdstuk 2 beschreven theorie dat verlichting niet wezenlijk bedraagt aan koershouden bij standaard autosnelwegsituaties.

5 Schatting van het effect van de maatregel

Op basis van de in hoofdstuk 4 gevonden uitkomsten van de ongevalstudie wordt in dit hoofdstuk het effect van de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten geschat voor enkele varianten. Er worden meerdere varianten beschreven zodat de uitkomsten van het onderzoek bruikbaar zijn voor de verdere invulling van en besluitvorming over de maatregel.

5.1 Methodologie effectschatting

De in hoofdstuk 4 bepaalde effectpercentages zijn toegepast op de slachtofferaantallen bij ongevallen binnen de invloedssfeer van de maatregel.

Omrekening van de uitkomsten naar werkelijke slachtofferaantallen

De in hoofdstuk 4 gepresenteerde slachtofferaantallen gaan uit van geregistreerde aantallen in BRON. Voor doden is dit aantal voldoende volledig omdat de onderregistratie niet hoger zal zijn dan 5%. Bij ziekenhuisgewonden is de onderregistratie hoger en bovendien wordt inmiddels uitgegaan van de nieuwe definitie van ernstig verkeersgewonden: ziekenhuisopnamen van 24 uur of meer met een letsel van minimaal 2 op de 'Maximum Abbreviated Injury Score'. Door de onderregistratie kan het geregistreerde aantal ziekenhuisgewonden te laag zijn. Anderzijds vallen niet alle geregistreerde ziekenhuisgewonden onder de nieuwe definitie van ernstig verkeersgewonden. De factor om geregistreerde ziekenhuisopnamen om te rekenen naar ernstig verkeersgewonden is als volgt bepaald. Bij slachtoffers op rijkswegen zijn nagenoeg altijd motorvoertuigen betrokken. In de periode 2005-2009 waren er gemiddeld 900 ernstig verkeersgewonden bij motorvoertuigongevallen te betreuren op rijkswegen (Reurings en Bos, 2011) en werden er gemiddeld 1.050 ziekenhuisgewonden geregistreerd (BRON/DVS 2005-2009). Als omrekenfactor om geregistreerde ziekenhuisgewonden om te rekenen naar ernstig verkeersgewonden zal 0,86 worden gehanteerd (900/1.050).

Slachtofferaantallen binnen de invloedssfeer van de maatregel

De maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten heeft effect op aantallen doden en ernstig verkeersgewonden op wegvakken bij duisternis waar geen uitzondering geldt. Uitzonderingen zijn knooppunten, weefvakken en andere discontinuïteiten, wegwerkzaamheden en slecht zicht, bijvoorbeeld bij mist en zware regenval (zie bijlage 2 voor een uitgebreidere toelichting op de berekening van de doelgroep). Naar schatting heeft de maatregel invloed op ruim 700km aan autosnelwegen, waarop bij duisternis jaarlijks 12 doden en 84 ernstig verkeersgewonden te betreuren zijn, zie tabel 5.1. Het aandeel doden bij duisternis (12 van de 25) is op deze wegvakken groter dan het aandeel ziekenhuisgewonden bij duisternis (84 van de 249).

Tabel 5.1 Jaarlijks aantal doden en ernstig verkeersgewonden op verlichte wegvakken waarop de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten van invloed kan zijn

Aantal slachtoffers	Doden	Ernstig verkeersgewonden
bij duisternis	12	84
naar intensiteit		
Intensiteit (mtv/rijstrook/uur)		
tot 100	2,4	15
100 - 500	5,1	30
500 - 800	2,0	13
meer dan 800	2,7	26
Bij duisternis naar tijdstip		
5:00 – 7:00	1,6	13
7:00 – 9:00	0,7	5
17:00 – 21:00	2,9	22
21:00 – 23:00	1,8	11
23:00 – 5:00	5,2	33
bij daglicht	13	164
Totaal op verlichte wegvakken	25	249

Aanpak van de effectschatting

De effectschatting wordt uitgevoerd door de in hoofdstuk 4 geschatte effectpercentages van verlichting toe te passen op de slachtofferaantallen binnen de invloedssfeer van de maatregel. Er zal grofweg op twee manieren worden gerekend, afhankelijk van het type scenario:

- Bij scenario's op basis van intensiteiten zal er vanuit worden gegaan dat verlichting geen effect heeft bij intensiteiten onder de 100 motorvoertuigen per rijstrook per uur. Circa 20% van de doden en ziekenhuisgewonden valt bij intensiteiten onder die grens en circa 80% daarboven. Om bij een effect van 0% onder de 100 motorvoertuigen per rijstrook per uur op een gemiddeld effect van 23% (zoals gesteld in paragraaf 4.6 wordt er vanuit gegaan dat openbare verlichting gemiddeld een effect heeft van 23%) uit te komen wordt boven die grens uitgegaan van een effect van 29% ($23/0,8$).
- Bij een scenario op basis van bepaalde uren van de dag wordt voor de nachtelijke uren (23:00-5:00 uur) en voor de avond- en ochtenduren (17:00-23:00 en 5:00-9:00 uur) uitgegaan van de effectpercentages die zijn gevonden in paragraaf 4.4.2 (respectievelijk 13 en 30%). Van de doden en ziekenhuisgewonden bij duisternis raakt 60% gewond in de ochtend en avond uren en 40% in de nachtelijke uren. Gemiddeld genomen komt het effectpercentage daarmee uit op 23 ($0,6*30+0,4*13=23\%$).

Er zal een bandbreedte worden geschat door met twee scenario's voor weersomstandigheden en effectgrootte te rekenen:

- Als bovengrens voor het effect wordt uitgegaan van de hierboven genoemde percentages.
- Als ondergrens wordt er vanuit gegaan dat de verlichting geen effect heeft bij slechte weersomstandigheden (regen, mist, hagel en sneeuw) omdat dan de verlichting kan worden ingeschakeld. Van alle doden en ziekenhuisgewonden raakt 7% gewond bij slechte weersomstandigheden. Om deze buiten de berekening te laten wordt de doelgroep eerst met 0,93 vermenigvuldigd. Daarnaast zal worden uitgegaan van het iets lagere effectpercentage van 22% dat Vis (1993) voor autosnelwegen heeft gevonden (d.m.v. correctiefactor van 22/23 op de effectpercentages). Dit om tegemoet te komen aan het feit dat in andere studies lagere effectpercentages zijn gevonden. Verder is er sprake van een extra onzekerheid ten aanzien van het effect bij nachtelijke uren: het gevonden effectpercentage van 13% bij uren van 23:00 tot 5:00 uur is niet significant. Voor varianten waarbij wordt in- en uitgeschakeld op basis van het uur van de dag zal voor nachtelijke uren van een ondergrens van 0% worden uitgegaan.
- Er wordt ook een variant doorgerekend waarbij de verlichting alleen wordt uitgeschakeld onder de 100 motorvoertuigen/rijstrook/uur. Dit betreft vooral de nachtelijke uren waarin verlichting een significant positief effect heeft bij slechte weersomstandigheden (78%, zie figuur 4.9). Voor het berekenen van de ondergrens zal er vanuit worden gegaan dat de verlichting weer wordt ingeschakeld bij slechte weersomstandigheden en dat onder die omstandigheden 78% van de slachtoffers kunnen worden bespaard.

In de praktijk zal waarschijnlijk niet bij iedere regenbui de verlichting worden ingeschakeld, maar alleen bij hevige regen. De uitzondering bij slechte weersomstandigheden zal in de praktijk ergens tussen de 0 en 7% van de ongevallen liggen. Om die reden is dit aspect gebruikt om een bandbreedte te bepalen.

5.2 Invoeringsvarianten

Er zullen verschillende invoeringsvarianten voor de maatregel worden doorgerekend zodat het verkeersveiligheidseffect goed kan worden meegewogen in de uitwerking van de maatregel en besluitvorming. Bij de effectschatting wordt uitgegaan van de volgende varianten:

- Variant 0: de huidige situatie (deze dient als referentie).
- Variant 1: drie varianten waarbij de verlichting wordt in- en uitgeschakeld op basis van intensiteiten:
 - 1a. de verlichting wordt in- en uitgeschakeld volgens het schakelregime dat momenteel bij dynamische verlichting wordt gehanteerd (voor schakelen tussen 100% en 20%):
 - Indien bij duisternis de verkeersintensiteit de 1100 mtv/uur/rijstrook overschrijdt zal het licht worden ingeschakeld.
 - Indien bij duisternis de verkeersintensiteit de 800 mtv/uur/rijstrook onderschrijdt zal het licht worden uitgeschakeld
 - 1b. de verlichting wordt ingeschakeld bij meer dan 500 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld bij minder dan 500 mtv/uur/rijstrook.
 - 1c. gelijk aan 1b, maar met een grens bij 100 mtv/uur/rijstrook.
- Variant 2: bij dit vereenvoudigde schema zal de verlichting worden in- en uitgeschakeld op basis van het uur van de dag: inschakelen gedurende de

ochtend en avond, namelijk 5:00-9:00 en 17:00-23:00 en uitschakelen tijdens de overige uren bij duisternis.

- Variant 3: als extra referentie is een variant opgenomen waarbij de verlichting geheel wordt uitgeschakeld.

5.3

Schatting van de effecten in extra doden en ernstig gewonden

De effecten bij de in paragraaf 5.2 beschreven invoeringsvarianten zijn gepresenteerd in tabel 5.2. De effecten in aantallen extra slachtoffers ten opzichte van de huidige situatie verschillen aanzienlijk tussen de varianten. Voor variant 1a, 1b en 1c geldt dat de uiteindelijke effecten mede afhangen van hoe de variant in de praktijk wordt uitgevoerd. Bijvoorbeeld, worden de grenzen voor in- en uitschakelen zo ingesteld dat de grenzen in de helft van de gevallen overschreden worden (bijvoorbeeld uitgeschakeld terwijl de intensiteit nog boven de grens van 800 motorvoertuigen/rijstrook/uur ligt) of zo dat ze bijna nooit overschreden worden. Het aantal extra slachtoffers is beperkt bij variant 2 waarbij de verlichting de hele ochtend- en avondperiode blijft branden en nihil bij uitschakeling van de verlichting onder de 100 motorvoertuigen/rijstrook/uur.

Tabel 5.2 Jaarlijks effect in extra doden en ernstig verkeersgewonden bij verschillen varianten voor de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten

Variant	doden	Effect ernstig gew.
Aantal doden en ziekenhuisgewonden in de huidige situatie (verlichting brandt bij duisternis)	12	84
Aantal <i>extra</i> doden per variant		
1. Schakelregime op basis van intensiteit:		
1a. inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook	1,8 – 2,1	11 – 13
1b. uitschakeling onder de 500 mtv/uur/rijstrook	1,3 – 1,5	8 – 9
1c. uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook	-0,1 – 0	-1 – 0
2. inschakeling in de periode van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur	0 – 0,7	0 – 4
3. Verlichting geheel uit	2,5 – 2,8	18 – 20

Bij variant 1c is het effect nihil tot licht positief (de ondergrens is -0,1 en -1 voor doden en ernstig gewonden). Een licht positief effecten ten opzichte van de huidige situatie kan ontstaan doordat de verlichting nauwelijks een effect heeft onder de 100 mtv/rijstrook/uur, maar wel wordt ingeschakeld bij slechte weersomstandigheden waar verlichting een substantieel positief effect heeft. Als deze uitzondering ruim wordt toegepast, d.w.z. inschakelen van verlichting bij regen, mist, sneeuw en hagel, zou 125 mtv/rijstrook/uur gekozen kunnen worden als grens voor in- en uitschakelen. De gunstige effecten door inschakeling van de verlichting bij slechte weersomstandigheden bij intensiteiten tot en met 125 mtv/rijstrook/uur zijn ongeveer gelijk aan de negatieve effecten door uitschakeling van de verlichting tussen 100 en 125 mtv/rijstrook/uur (uitgaande van het

effectpercentage van 30% zoals beschreven in paragraaf 5.1 voor intensiteiten boven de 100 mtv/rijstrook/uur).

5.4 Kosten extra slachtoffers per variant

Een doel van de maatregel is om ten behoeve van de duurzaamheid energiekosten te besparen. Het meest gunstig voor de verkeersveiligheid is om de verlichting te laten branden op de uren dat de meeste slachtoffers kunnen worden bespaard. Om tussen beide belangen een goede balans te vinden zijn voor alle varianten de kosten van de extra slachtoffers ten opzichte van de huidige situatie bepaald, zie tabel 5.3. Hierbij is uitgegaan van het gemiddelde aantal extra doden en ernstig gewonden, ofwel het midden van de bandbreedte in tabel 5.2 en de kosten voor verkeersslachtoffers zoals beschreven in het tekstkader op bladzijde 35. De in deze paragraaf beschreven informatie kan dienen als input voor een kosten-baten-analyse waarin ook de energiebesparing en effecten op de capaciteit van de weg bij hogere intensiteiten worden meegewogen. Een volledige kosten-batenanalyse valt buiten de scope van dit onderzoek.

Tabel 5.3 Jaarlijks effect in extra doden, ernstig verkeersgewonden en kosten bij verschillende varianten voor de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten

Variant	Slachtoffers		Jaarlijkse kosten extra slachtoffers (miljoen euro's)
	doden	ernstig gew.	
1. Schakelregime op basis van intensiteit:			
1a. inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook	1,9	12	12,4
1b. uitschakeling onder de 800 mtv/uur/rijstrook	1,4	8	8,8
1c. uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook	0	0	0
2. inschakeling in de periode van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur	0,3	2	2,2
3. Verlichting geheel uit	2,7	19	18,7

Berekening van de kosten van verkeersonveiligheid (gebaseerd op SWOV, 2011)

Voor het berekenen van de kosten van verkeersonveiligheid werden tot nu toe twee methoden gebruikt. De eerste meest grove methode bepaalt de kosten uit enkel het aantal doden dat met een maatregel wordt voorkomen. De kosten van ongevallen met lichtere letsels worden geschat door de kosten per dode op te hogen. Bij de tweede methode worden kosten bepaald per doden, ziekenhuisgewonde, slachtoffers die worden behandeld op de Spoedeisende Hulp (SEH), slachtoffers met lichtere letsels en ongevallen met uitsluitend materiële schade. Aangezien in de praktijk alleen het aantal doden en ziekenhuisgewonden goed bepaald kan worden bleven de kosten van lichtere ongevallen buiten beschouwing zodat de baten van maatregelen werden onderschat. Deze methode is bijvoorbeeld ingezet om de baten te bepalen van het maatregelpakket waarvoor Rijkswaterstaat een FES-claim (claim op het Fonds Economische Structuurversterking) heeft ingediend (Rijkswaterstaat, 2010). Om dit probleem op te lossen heeft de SWOV recent een derde methode voorgesteld. Deze heeft bovendien als voordeel dat gewerkt kan worden met de nieuwe definitie van ernstig verkeersgewonde die de oude definitie van ziekenhuisgewonden vervangt (SWOV, 2010). Voor deze studie is met de nieuwe door SWOV ontwikkelde methode gerekend.

Er wordt gerekend met een bedrag per dode (€ 2.601.000), waarin alleen de kosten van doden zijn inbegrepen, en een bedrag per ernstig gewonde (€ 620.000), waarin ook de kosten van SEH-slachtoffers, lichter letsel en UMS-ongevallen zijn inbegrepen. De tussen haakjes genoemde kosten zijn gebaseerd op het prijspeil van 2007. De methode veronderstelt dat het aantal SEH-slachtoffers, slachtoffers met lichter letsel en UMS-ongevallen in dezelfde mate worden bespaard als het aantal ernstig gewonden. Waarschijnlijk wordt hieraan bij de maatregel verlichting in redelijke mate voldaan aangezien voor geregistreerde ziekenhuisgewonden en voor letselslachtoffers beide een gemiddeld effect van 23% is gevonden (zie tabel B1.1 in bijlage 1), waarbij overigens wel enige verschillen optreden als onderscheid wordt gemaakt naar avond- en ochtenduren versus nachtelijke uren (zie tabel B1.6 en B1.7 in bijlage 1).

5.5 Effectiviteit van de verlichting per variant

In de vorige paragrafen is beschreven in hoeverre de verkeersveiligheid verslechtert door uitschakeling van openbare verlichting bij verschillende varianten. In deze paragraaf wordt per variant beschreven hoe effectief de inzet van de verlichting is gedurende de uren dat de verlichting blijft branden. Hiervoor is voor de varianten bepaald gedurende welk aandeel van de duistere uren de verlichting blijft branden. Volgens het schema in bijlage 0 en uitgaande van de huidige situatie zou de verlichting in de zomermaanden ca 8 uur branden wat oploopt tot 16 uur in de wintermaanden, met een gemiddelde van ca 12 uur per dag. Daaruit zijn de baten bepaald per procent dat de verlichting brandt, zie tabel 5.3.

In de niet in tabel 5.4 opgenomen variant waarbij de verlichting alleen in de periode van 23:00 tot 5:00 uur zou branden, zouden de baten per procent verlichting bij duistere uren ca 0,04 € miljoen euro bedragen. Alle onderzochte varianten scoren beter. De effectiefste varianten zijn de varianten waarbij de verlichting brandt bij hogere intensiteiten (variant 1). Ook variant 2 waarbij de verlichting de gehele ochtend en de gehele avond blijft branden (van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur) levert een substantieel effect. Daarbij worden in absolute zin de meeste slachtoffers bespaard omdat verlichting voor de verkeersveiligheid ook bij gemiddelde

intensiteiten een positieve bijdrage levert. De uren met die intensiteiten worden afgedekt met variant 2.

Tabel 5.4 Baten (waardering bespaarde slachtoffers door ingeschakelde verlichting) per procent verlichting (aandeel verlichting bij duistere uren)

Variant	Aandeel verlichting bij duistere uren (%)	Baten per procent (miljoen euro's)
0. Huidige situatie: verlichting brandt bij duisternis	100%	0,19
1. Schakelregime op basis van intensiteit:		
1a. inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook	17%	0,37
1b. uitschakeling onder de 500 mtv/uur/rijstrook	29%	0,34
1c. uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook	63%	0,30
2. inschakeling in de periode van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur	49%	0,34

In paragraaf 5.3 is aangegeven dat voor variant 1c een hoger criterium van 125 mtv/rijstrook/uur gekozen zou kunnen worden onder de voorwaarde dat de verlichting wordt ingeschakeld bij regen, mist, sneeuw en hagel. De grens van 125 mtv/rijstrook/uur wordt bij ongeveer 55% van de duistere uren overschreden terwijl er volgens de weergegevens van het KNMI gedurende iets meer dan 7% van de tijd neerslag valt. Het percentage verlichte uren zou in zo'n variant met een strikte uitzondering uitkomen op ca 58% ($55 + 0,07 \cdot 45 = 58\%$). In tabel 5.4 zijn de percentages niet gecorrigeerd voor het inschakelen van verlichting bij neerslag omdat er vanuit gegaan wordt dat de uitzondering in beperktere mate zal worden toegepast.

De bovenstaande berekening is onvoldoende voor een kostenbatenanalyse. Voor een volledige kostenbatenanalyse zouden zowel de vaste (bijvoorbeeld vastrecht) als variabele kosten (bijvoorbeeld energieverbruik) meegewogen moeten worden. De relatieve scores voor de varianten in tabel 5.4 zouden daardoor waarschijnlijk veranderen. Het is aannemelijk dat variant 2 de meest gunstige kostenbatenverhouding heeft. Het aantal extra slachtoffers is bij deze variant kleiner dan bij andere varianten waardoor ook de maatschappelijke kosten kleiner zijn. In een kostenbatenanalyse zijn dit extra baten voor de betreffende variant waarbij de vaste kosten terugverdiend kunnen worden.

5.6 Interpretatie van de resultaten

Een belangrijke vraag is hoe de uitkomsten van de effectberekeningen moeten worden geïnterpreteerd in het licht van de in hoofdstuk 4 besproken onzekerheden. Deze vraag is uitgebreid aan bod geweest in de workshop met TNO, de SWOV en RUG waarvan in bijlage 3 het verslag is opgenomen.

Dit is van belang voor de vertaling van de gevonden effecten naar conclusies. Over het gemiddelde effect van verlichting van 22 tot 23% is weinig discussie mogelijk omdat deze effecten in meerdere studies met verschillende onderzoeksopzetten (zowel voor-na als correlatief) voor Nederlandse autosnelwegen zijn gevonden. De zekerheid van effecten op de verkeersveiligheid kunnen worden besproken door de mogelijke varianten in drie groepen te verdelen:

- De verlichting wordt ingeschakeld bij hogere intensiteiten
 Als grens voor hogere intensiteiten zijn bijvoorbeeld mogelijk: inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook of varianten met andere grenzen zoals 500 mtv/uur/rijstrook. De effecten van deze varianten laten zich als volgt samenvatten:
 - Er is een aantoonbaar positief effect op de verkeersveiligheid en capaciteit doordat de verlichting brandt bij hogere intensiteiten (in vergelijking met een situatie zonder verlichting)
 - Er is in vergelijking met de huidige situatie (waarbij de verlichting brandt bij alle uren bij duisternis) een aantoonbaar negatief effect op de verkeersveiligheid doordat de verlichting is uitgeschakeld bij gemiddelde intensiteiten:
 - Ca 2 doden en 12 ernstig verkeersgewonden bij een regime waarbij wordt ingeschakeld vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder 800 mtv/uur/rijstrook
 - Ca 1,4 doden en 8 ernstig verkeersgewonden bij een regime waarbij wordt ingeschakeld vanaf 500 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder 500 mtv/uur/rijstrook
- De verlichting wordt ingeschakeld tijdens de avond en ochtenduren
 In deze variant wordt de verlichting ingeschakeld bij duisternis in de avond- en ochtenduren (vanaf 17:00 tot 23:00 uur en vanaf 5:00 tot 9:00 uur). De effecten van deze varianten laten zich als volgt samenvatten:
 - Er is een aantoonbaar positief effect op de verkeersveiligheid en capaciteit doordat de verlichting brandt tijdens de avond- en ochtenduren (in vergelijking met een situatie zonder verlichting)
 - Er lijkt in vergelijking met de huidige situatie een negatief effect op de verkeersveiligheid te zijn van naar schatting 0 tot 0,7 doden en 0 tot 4 ernstig verkeersgewonden. Dit verschil is niet significant.
- De verlichting wordt ingeschakeld bij duisternis zolang de intensiteiten boven de 100 tot 125 mtv/uur/rijstrook liggen
 Hierbij wordt de verlichting ingeschakeld als intensiteiten van 100 of 125 mtv/uur/rijstrook worden overschreden. Als gekozen wordt voor een ondergrens van 100 mtv/uur/rijstrook zijn er geen negatieve effecten op de verkeersveiligheid te verwachten. Als gekozen wordt voor een grens van 125 mtv/uur/rijstrook en als de verlichting *wel* wordt ingeschakeld bij slechte weeromstandigheden (regen, mist, sneeuw en hagel) zijn eveneens geen negatieve effecten op de verkeersveiligheid te verwachten.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het doel van deze studie is het berekenen van de effecten op de verkeersveiligheid van de maatregel 'Verlichting uit bij lage intensiteiten'. De maatregel geldt niet als er sprake is van rijtaakverzwarende omstandigheden, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, calamiteiten, knooppunten en locaties waar een weg niet aan de ontwerprichtlijnen voldoet. Deze worden dan ook buiten beschouwing gelaten bij het berekenen van de effecten van de maatregel. Op de verlichte wegvakken waarop de maatregel kan worden ingevoerd (en geen sprake is van een uitzonderinggrond) vallen bij duisternis jaarlijks circa 12 doden en 84 ernstig gewonden. Hierbij is uitgegaan van 700 km aan autosnelwegen maar dit areaal kan groter of kleiner zijn als de maatregel verder wordt uitgewerkt.

De effecten van de maatregel zijn in eerste instantie onderzocht voor een variant waarbij de verlichting wordt ingeschakeld vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder de 800 mtv/uur/rijstrook. Deze grenzen worden al toegepast op autosnelwegen door natuurgebieden. Daarnaast is onderzocht bij welke intensiteitsgrens voor het schakelregime geen aantoonbare negatieve effecten op de verkeersveiligheid zijn te verwachten.

Voor invoering van de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Als de verlichting bij duisternis wordt ingeschakeld vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook en uitgeschakeld onder 800 mtv/uur/rijstrook is een aantoonbaar negatief effect op de verkeersveiligheid te verwachten van naar schatting 2 doden en 12 ernstig verkeersgewonden.
- Als de verlichting wordt uitgeschakeld bij duisternis als de intensiteit lager is dan 100 mtv/uur/rijstrook is geen effect op de verkeersveiligheid te verwachten. Een aanzienlijk deel van de autosnelwegen heeft in het tijdvak van 23:00 tot 5:00 uur een intensiteit onder deze grens.

De gevonden conclusies zijn vertaald in drie varianten. In tabel 6.1 is per variant weergegeven wat op de betreffende wegen (die nu tijdens alle uren bij duisternis worden verlicht) de verkeersveiligheidseffecten zijn. Bij variant 1 stijgt het aantal doden bij duisternis naar verwachting van 12 naar 13,9 en het aantal ernstig gewonden van 84 naar 96. Bij variant 2 is geen effect op het aantal doden en gewonden te verwachten. Bij variant 3 zou, volgens een niet significante schatting, het aantal doden van 12 naar 12,3 kunnen stijgen en het aantal ernstig gewonden van 84 naar 86. De aantallen zijn steeds per jaar.

Tabel 6.1 Jaarlijks effect in extra doden en ernstig verkeersgewonden bij drie varianten voor de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten

	Aantal slachtoffers bij duisternis		Percentage verlichting bij duistere uren
	doden	ernstig gewonden	
Huidige situatie (verlichting brandt bij duisternis)	12	84	100%
Variant met alternatief schakelregime:			
1. inschakeling vanaf 1100 mtv/uur/rijstrook; uitschakeling onder 800 mtv/uur/rijstrook	13,9	96	17%
2. uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook	12	84	63%
3. inschakeling in de periode van 5:00-9:00 en 17:00-23:00 uur	12,3	86	49%

6.2 Randvoorwaarden

De bovenstaande effectschattingen zijn gebaseerd op het huidige kwaliteitsniveau van de bebakening en markering. Als de kwaliteit daarvan zou verslechteren hebben weggebruikers bij duisternis op onverlichte wegen minder geleidende informatie tot hun beschikking. Een randvoorwaarde bij de bovenstaande effectschatting is dan ook dat het huidige niveau van bebakening en markering wordt gehandhaafd. Zakt het niveau, dan kan het aantal extra slachtoffer groter zijn dan het aantal dat in paragraaf 6.1 is genoemd.

Verder is in de studie uitgegaan van de huidige systematiek bij spitsstroken, namelijk openstelling van de spitsstroken bij hogere verkeersintensiteiten. Er wordt een discussie gevoerd over het permanent openstellen van spitsstroken. Als dit een spitsstrook betreft die in de huidige situatie als vluchtstrook wordt gebruikt kan het permanent openstellen zonder openbare verlichting extra risico's met zich meebrengen. Langzaam rijdende voertuigen kunnen later worden opgemerkt en het inschatten van het verkeer op de spitsstrook bij het verlaten van een pechhaven wordt bemoeilijkt. Een randvoorwaarde bij de effectschattingen in paragraaf 6.1 is dat de huidige systematiek voor het openstellen van de betreffende spitsstroken wordt gehandhaafd.

6.3 Aanbevelingen

Met de in paragraaf 6.1 beschreven conclusies kunnen de verkeersveiligheidseffecten per variant worden afgewogen tegen andere belangen zoals duurzaamheid en kosten. Omdat inschatting van andere effecten dan verkeersveiligheidseffecten buiten deze studie viel wordt geen aanbeveling gegeven voor het kiezen van een variant.

7. Literatuur

AASHTO, 2005. Roadway Lighting Design Guide. Washington.

Assum, T., Bjørnskau, T., Fosser, S., & Sagberg, F. (1999). Risk compensation--the case of road lighting. *Accident Analysis and Prevention*, 31 (5), 545-553.

Belia, S., Fidler, F., Williams, J., Cumming, G., 2005. [Researchers Misunderstand Confidence Intervals and Standard Error Bars](#). *Psychological Methods*, 10, 389-396.

Beukers, B. 1971. The environment and road traffic. Barcelona, CIE.

COST 331, 1999. Requirements for horizontal road markings – Final report of the action. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

CROW, 2005. Richtlijn Bewegwijzering; Publicatie 222. Ede: CROW.

Cumming, G., Finch, S., 2005. Inference by the eye; Confidence Intervals and How to Read Pictures of Data. *American Psychologist*, 60, 170–180.

Donges, E., 1978. A two-level model of driver steering behavior. *Human Factors*, 20, 691–707.

Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., Stefan, C., 2008. Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: recommendation for using these tools. Leidschendam: SWOV.

Elvik, R., 2009. The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier, Oxford.

Fisher, A.J., Hall, R.R., 1978. The effect of presence lights on the detection of change of vehicle headway. *Australian Road Research*, 8 (2), 13-16.

Folles, E., IJsselstijn, J., Hogema, J.H., Van der Horst, A.R.A., 1999. Dynamische openbare verlichting (DYNO). Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Ford, S.H., Calvert, E.C., 2003. Evaluation of a low-cost program of road system traffic safety reviews for county highways. *Transportation Research Record*, 1819, 231-236.

Godthelp, J., & Riemersma, J.B.J. (1982). Perception of delineation devices in road work zones during nighttime (SAE paper no 820413). Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc.

Hogema, J.H., Kaptein, N.A. (1998). Dynamische Openbare Verlichting (DYNO). Fase 3: Praktijkevaluatie (Rapport TM-98-C038). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Hogema, J.H., & Veltman, J.A. (2002). *Werkbelasting en rijgedrag tijdens duisternis: eerste veldexperiment* (TNO-rapport TM-02-C046). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Hogema, J.H., & Veltman, J.A. (2003). *Werkbelasting en rijgedrag tijdens duisternis: tweede veldexperiment* (TNO-rapport TM-03-C018). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Hogema, J.H., Veltman, J.A., & Van 't Hof, A. (2005). Effects of motorway lighting on workload and driving behaviour. G. Underwood (Ed.), *Traffic & Transport Psychology - Theory and application*. Proceedings of the ICTTP 2004 (355-368). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Kaptein, N.A., Alferdinck, J.W.A.M., & Van der Horst, A.R.A. (1995). *Dynamische openbare verlichting (DYNO). Fase 1: Literatuurstudie en wegbeeldanalyse* (Rapport TNO-TM 1995 C-49). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Moore, D.W., Rumar, K., 1999. Historical development and current effectiveness of rear lighting systems. Ann Arbor: University of Michigan, Transportation Research Institute.

Owens, D.A., Tyrrell, R.A., 1999. Effects of luminance, blur, and age on nighttime visual guidance: a test of the visual degradation hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5, 115-128.

Parker, J.F., Gilbert, R.R., and Dillon, R.F., 1964. Effectiveness of three visual cues in the detection of rate of closure at night (Report No. 64-1). Arlington, VA: BioTechnology Inc.

Reurings, M.C.B., Bos, N.M., 2011. *Ernstig verkeersgewonden in de periode 1993-2009*. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde, 1990. *Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen; Hoofdstuk V Verlichting*. 's Gravenhage: SDU.

Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 2006. *Kosten van verkeersongevallen in Nederland*. Rotterdam.

Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2010. *Veilig over rijkswegen 2009*. Delft.

Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, 2010. *Kosten-batenanalyse, kosteneffectieve verkeersveiligheidsmaatregelen rijkswegennet (KVR)*. Delft.

Rumar, K. and Marsh, II, D.K., 1998. Lane markings in night driving: A review of past research and of the present situation. Michigan: The University of Michigan, Transportation Research Institute.

Schreuder, D.A., 1990. De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Schreuder, D.A., 1993. Verkeersveiligheid verlicht. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Summala, H., Lamble, D., & Laakso, M. (1998). Driving experience and perception of the lead car's braking when looking at in-car targets. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 401-407.

SWOV, 2011. Het berekenen van verkeersveiligheidsbaten in KBA's. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Tan, T.H., 1975. Wegverlichting in de praktijk. *Wegen*, 47, 20-24.

Van Goevorden, C.D., Botma, H., Bovy, P.H.L., 1998. Determining Impact of Road Lighting on Motorway Capacity. *Transportation Research Record*, 1646 1-8. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Vis, A.A., 1993. Openbare verlichting en de verkeersveiligheid op autosnelwegen. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Wanvik, P.O., 2007. Effects of road lighting on Dutch Accidents 1987-2006; Paper nr. 3.

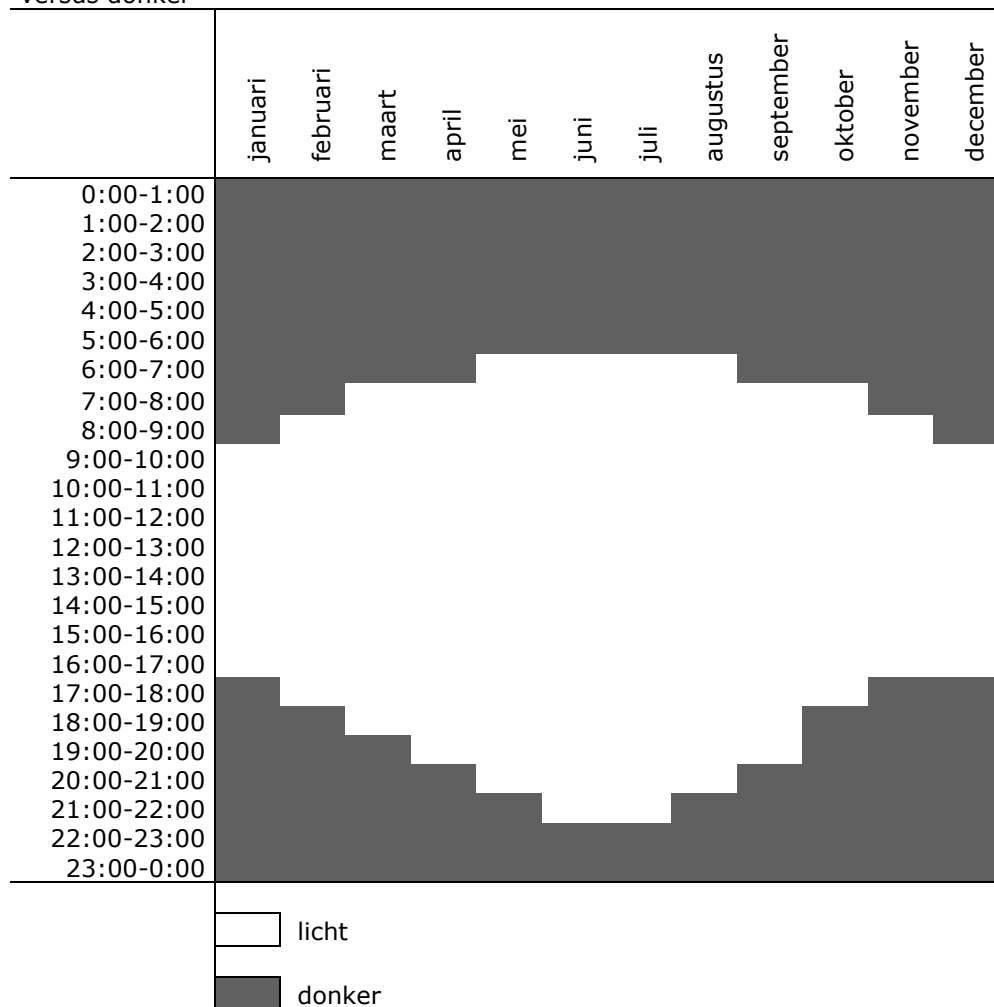
Wanvik, P.O., 2009. Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987-2006. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 123-128.

Wood, J.M., Owens, D.A., 2005. Standard Measures of Visual Acuity Do Not Predict Drivers' Recognition Performance Under Day or Night Conditions. *Optometry and Vision Science*, 80, 698-705.

Bijlage 0 Uitgangspunt bij de verdeling licht-duisternis

In deze studie is het onderscheid tussen licht- en duisternis voor geregistreerde ongevallen en intensiteiten per uur (bepaald uit tellusgegevens) bepaald op basis van het onderstaande schema. Dit schema is uitgewerkt door Vis (1993) op basis van astronomische gegevens van het KNMI en het onderscheid tussen zomer- en wintertijd. Schemer wordt met dit schema voor het grootste gedeelte gerekend tot de lichte periode.

Tabel B0.1 Uitgangspunt bij de verdeling van ongevallen en intensiteiten aan licht versus donker



Bijlage 1 Tabellen en statistische toetsen bij hoofdstuk 4

In deze bijlage zijn resultaten van de analyses bij hoofdstuk 4 in tabelvorm weergegeven inclusief de statistische toetsen.

Statistische toetsen

Voor deze studie worden negatieve binomiale (NB) regressieanalyses uitgevoerd. Voor zowel verlichte als onverlichte wegvakken wordt, rekening houdend met intensiteiten, een relatief risico berekend dat weergeeft hoe sterk het risico bij duisternis verschilt ten opzichte van het risico bij daglicht. De overschrijdingswaarde die in kolom *P* van de tabellen is weergegeven drukt enkel uit of een relatief risico significant verschilt van 1. De relevante vraag voor deze studie is of het relatief risico bij verlichte wegvakken verschilt van het relatief risico bij onverlichte wegvakken. Om te bepalen of dit verschil significant is zijn aanvullende analyses uitgevoerd op de 95%-betrouwbaarheidsintervallen. De betrouwbaarheidsintervallen bij de relatieve risico's voor duisternis t.o.v. daglicht in de figuren in hoofdstuk 4 zijn bepaald door twee analyses uit te voeren waarbij achtereenvolgens één van de categorieën bij daglicht (onverlicht respectievelijk verlicht) als referentiecategorie werd gedefinieerd. In de tabellen in dit hoofdstuk zijn alleen de analyses opgenomen waarbij daglicht bij onverlichte wegvakken als referentiecategorie werd gedefinieerd. De intervallen die worden vergeleken voor om te bepalen of het effect significant is, zijn de intervallen in de figuren.

Hieronder worden als voorbeeld de statistische toetsen beschreven bij het totaaleffect zoals afgebeeld in figuur 4.1. Voor letselslachtoffers kan visueel uit figuur 4.1 worden geconcludeerd dat het verschil significant is omdat de betrouwbaarheidsintervallen van verlichte en onverlichte wegvakken niet met elkaar overlappen (tevens kan hieruit worden geconcludeerd dat de overschrijdingskans onder 0,01 ligt). Voor doden en ziekenhuisgewonden overlappen de intervallen elkaar enigszins en is er een aanvullende toets nodig. Als de proportie overlap van de betrouwbaarheidsintervallen kleiner is dan 0,5 ligt de overschrijdingskans onder de 0,05 en kan worden geconcludeerd dat het verschil significant is. De proportie overlap is de overlap gedeeld door de helft van de gemiddelde breedte van de betrouwbaarheidsintervallen, zie tabel B1.0. De proportieoverlap ligt in dit geval onder de 0,5. Het verschil is significant is bij een overschrijdingskans van 5% (zie Cumming en Finch, 2005 en Belia et al, 2005 voor een uitgebreidere toelichting over het vergelijken van betrouwbaarheidsintervallen).

Tabel B1.0 Toets op significantie van het effect van verlichting op geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden

	onverlicht	verlicht	Effectgrootte
Relatief risico	1,81	1,38	$(1,39 - 1,82)/1,82 = -23\%$
ondergrens interval	1,58	1,20	
bovengrens interval	2,08	1,59	
Gemiddelde breedte 95%-betrouwbaarheidsinterval	0,22		
Overlap	0,02		
Proportie overlap	0,07		

Effect van verlichting (tabellen bij paragraaf 4.3)

Tabel B1.1 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden per uur per wegvak*

	Doden en ziekenhuisgewonden		Letselslachtoffers (inclusief doden en ziekenhuisgewonden)	
N	2664		7518	
Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter	P	Regressie parameter	P
Constante	-8,83	<0,001	-9,83	<0,001
Voertuigkilometers	0,65	<0,001	0,80	<0,001
Aanwezigheid van DAB: niet aanwezig (deels) aanwezig	1 0,99	0,81	1 1,08	0,097
Aanwezigheid verlichting onverlichte wegvakken	Relatief risico		Relatief risico	
daglicht	1		1	
duisternis	1,82	<0,001	1,93	<0,001
verlichte wegvakken	Relatief risico		Relatief risico	
daglicht	0,93	0,22	1,13	<0,001
duisternis	1,29	<0,001	1,66	<0,001
Effect verlichting	- 23%	< 0,05	- 23%	< 0,01

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Effect van verlichting in relatie tot uurintensiteiten (tabellen bij paragraaf 4.4.1)

Zoals toegelicht in paragraaf 4.4.1 zijn de analyses niet geschikt om de effectgrootte vast te stellen. Daarom is geen effectgrootte bij de tabellen vermeld.

Tabel B1.2 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden per uur per wegvak bij intensiteiten onder de 800 mtv/rijstrook/uur

Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter	P
N	1351	
Constante	-8,81	<0,001
Voertuigkilometers	0,59	<0,001
Nachtelijke uren (23:00-5:00 uur)	1,56	<0,001
Aanwezigheid verlichting onverlichte wegvakken	Relatief risico	
daglicht	1	
duisternis	1,69	<0,001
verlichte wegvakken	Relatief risico	
daglicht	0,83	0,14
duisternis	1,28	0,019

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.3 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden per uur per wegvak boven de 800 mtv/rijstrook/uur*

Onafhankelijke variabelen**	Regressie parameter	P
N	1318	
Constante	-11,38	<0,001
Voertuigkilometers	0,86	<0,001
Aanwezigheid verlichting onverlichte wegvakken		
daglicht	1	
duisternis	1,20	0,28
verlichte wegvakken		
daglicht	0,83	0,038
duisternis	0,87	0,27

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

** De factor 'nachtelijke uren' ontbreekt omdat er nauwelijks wegvakken zijn die bij nachtelijke uren een intensiteit halen boven de 800 mtv/rijstrook/uur

Tabel B1.4 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden per uur per wegvak bij duisternis*

Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter	P
N	1037	
Constante	-7,81	<0,001
Voertuigkilometers	0,61	<0,001
Nachtelijke uren (23:00-5:00 uur)	1,52	<0,001
Intensiteitklasse (mtv/uur)	Relatief risico	
0-100	onverlicht	1
	verlicht	0,89
100-800	onverlicht	1,00
	verlicht	0,71
>800	onverlicht	0,65
	verlicht	0,52

* overschrijdingskans berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.5 Vergelijking van de categorieën onverlicht-verlicht per intensiteitklasse

Intensiteitklasse	Relatief risico verlicht t.o.v. onverlicht	P
0-100	0,89	0,43
100-800	0,71	<0,001
>800	0,80	0,15

Effect van verlichting in relatie tot uurintensiteiten (tabellen bij paragraaf 4.4.2)

Tabel B1.6 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde slachtoffers per wegvak in het tijdvak 5:00 - 23:00 (tijdvak zonder nachtelijke uren)*

	Doden en ziekenhuisgewonden		Letselslachtoffers (inclusief doden en ziekenhuisgewonden)	
Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter <i>P</i>		Regressie parameter <i>P</i>	
N	2277		6748	
Constante	-8,61	<0,001	6748	
Voertuigkilometers	0,66	<0,001	11,68	<0,001
Aanwezigheid verlichting onverlichte wegvakken			0,95	<0,001
daglicht	1			
duisternis	1,70	<0,001	1	
verlichte wegvakken			1,85	<0,001
daglicht	0,86	0,010		
duisternis	1,02	0,084	1,18	<0,01
Effect verlichting	- 30%	<0,01	- 18%	<0,05

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.7 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde slachtoffers per wegvak in het tijdvak 9:00 - 17:00 en 23:00 - 5:00 (tijdvak met nachtelijke uren)*

	Doden en ziekenhuisgewonden		Letselslachtoffers (inclusief doden en ziekenhuisgewonden)	
Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter <i>P</i>		Regressie parameter <i>P</i>	
N	1456		3948	
Constante	-8,61	<0,001	-9,64	<0,001
Voertuigkilometers	0,66	<0,001	0,80	<0,001
Aanwezigheid verlichting onverlichte wegvakken				
daglicht	1		1	
duisternis	2,10	<0,001	2,44	<0,001
verlichte wegvakken				
daglicht	0,87	0,076	1,27	<0,001
duisternis	1,59	<0,001	1,99	<0,001
Effect verlichting	- 13%	NS	- 36%	<0,01

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.8 Resultaten regressieanalyse op geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden per wegvak voor avond en ochtenduren*

Onafhankelijke variabelen	6:00 – 9:00 en 17:00 – 22:00 uur		6:00 tot 22:00 uur	
	Regressie parameter	<i>P</i>	Regressie parameter	<i>P</i>
N	1055		2217	
Constante	-11,72	<0,001	-11,20	<0,001
Voertuigkilometers	0,86	<0,001	0,84	<0,001
Aanwezigheid verlichting				
onverlichte wegvakken				
daglicht	1		1	
duisternis	2,29	<0,001	1,65	<0,001
verlichte wegvakken				
daglicht	0,99	0,94	0,88	0,024
duisternis	1,39	<0,001	1,04	0,96
Effect verlichting	- 39%	<0,01	- 31%	<0,01

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Effect van verlichting in relatie tot uurintensiteiten (tabellen bij paragraaf 4.5)

Tabel B1.9 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden bij drie ongevaltypen*

Onafhankelijke variabelen	Kopstaart		Enkelvoudig		Slecht weer		Bochten	
	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>
N	967		1171		175		228	
Constante	-10,98	<0,001	-8,61	<0,001	-11,20	<0,001	-9,31	<0,001
Voertuigkilometers	0,72	<0,001	0,66	<0,001	0,58	<0,001	0,48	<0,001
Aanwezigheid verlichting	Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico	
onverlichte wegvakken	1		1		1		1	
daglicht	1		1		1		1	
duisternis	1,94	<0,001	1,57	<0,001	3,16	<0,001	1,89	<0,01
verlichte wegvakken	1		1		1		1	
daglicht	1,95	<0,001	0,60	<0,001	2,14	<0,001	1,32	0,14
duisternis	1,61	<0,001	0,98	0,81	3,14	<0,001	1,43	0,11
Effect verlichting	- 37%	<0,01	+ 5%	NS	- 54%	<0,01	- 43%	NS

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.10 Resultaten regressieanalyse op geregistreeerde doden en ziekenhuisgewonden bij drie ongevaltypen in het tijdvak 5:00 - 23:00 (tijdvak met avond en ochtend zonder nachtelijke uren)*

Onafhankelijke variabelen	Kopstaart		Enkelvoudig		Slecht weer		Bochten	
	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>	Regressie parameter	<i>p</i>
N	857		956		148		185	
Constante	-12,47	<0,001	-11,20	<0,001	-12,99	<0,001	-11,53	<0,001
Voertuigkilometers	0,84	<0,001	0,97	<0,001	0,72	<0,001	0,66	<0,001
Aanwezigheid verlichting	Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico	
onverlichte wegvakken	1		1		1		1	
daglicht	1		1		1		1	
duisternis	1,84	<0,001	1,45	<0,001	2,78	<0,001	1,82	0,018
verlichte wegvakken	1		1		1		1	
daglicht	1,55	<0,01	0,55	<0,01	2,04	<0,001	1,23	0,86
duisternis	1,86	<0,001	0,74	<0,001	3,48	<0,001	1,08	0,65
Effect verlichting	- 35%	<0,01	- 8%	NS	- 39%	<0,01	- 52%	NS

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Tabel B1.11 Resultaten regressieanalyse op geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden bij drie ongevaltypen in het tijdvak 9:00 - 17:00 en 23:00 - 5:00 (tijdvak met nachtelijke uren)*

	Kopstaart		Enkelvoudig		Slecht weer		Slecht weer	
Onafhankelijke variabelen	Regressie parameter	<i>P</i>	Regressie parameter	<i>P</i>	Regressie parameter	<i>P</i>	Regressie parameter	<i>P</i>
N	507		659		86		122	
Constante	-9,98	<0,001	-9,66	<0,001	-8,83	<0,001	-8,83	<0,001
Voertuigkilometers	0,66	<0,001	0,69	<0,001	0,39	<0,001	0,39	<0,001
Aanwezigheid verlichting	Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico		Relatief risico	
onverlichte wegvakken								
daglicht	1		1		1		1	
duisternis	2,17	<0,001	2,65	<0,001	3,52	<0,001	3,34	<0,001
verlichte wegvakken								
daglicht	1,66	<0,001	0,53	<0,001	2,78	<0,001	1,27	0,32
duisternis	1,99	<0,001	1,75	<0,001	2,13	<0,001	2,80	<0,01
Effect verlichting	- 45%	<0,01	+26%	NS	- 78%	<0,01	- 34%	NS

* overschrijdingskansen berekend uitgaande van Deviance

Bijlage 2 Effectschattingen bij hoofdstuk 5

Doelgroep voor de maatregel

De maatregel heeft effect op aantallen doden en ziekenhuisgewonden op wegvakken bij duisternis. Er zijn echter verschillende uitzonderingen. Belangrijke uitzonderingen zijn dat de verlichting toegepast zal blijven worden bij wegwerkzaamheden en bij andere situaties met een verhoogde rijtaakbelasting (knooppunten, weefvakken en andere discontinuïteiten). Ongevallen bij deze situaties vallen buiten de invloedssfeer en dus buiten de doelgroep van de maatregel.

De ongevallen waarop de maatregel betrekking heeft zijn bepaald door de doden en ziekenhuisgewonden te selecteren op de in dit onderzoek bestudeerde wegvakken, zie hoofdstuk 4. Echter, enkele honderden kilometers aan wegvakken zijn niet in de studie opgenomen doordat er een knooppunt in lag of doordat de helft was verlicht (en het wegvak niet eenduidig in te delen was). Een deel van de lengte van die wegvakken valt binnen de invloedssfeer van de maatregel. Hiervoor is gecorrigeerd door aantallen slachtoffers te schatten en toe te voegen voor een verlicht wegvak van 100km lengte. Hiervoor is uitgegaan van het gemiddelde aantal doden en ziekenhuisgewonden per kilometer weglengte op verlichte wegvakken in de studie. Daarnaast is een lichte ophoging toegepast omdat bij een beperkt aantal ongevallen in BRON het uur van het ongeval of een ander kenmerk onbekend was.

Tabel B2.1 Bepaling van de doelgroep van de maatregel

Geregistreerde doden en ziekenhuisgewonden per jaar binnen de invloedssfeer van de maatregel (BRON 2005-2009)

	Lengte	Doden			Ziekenhuisgewonden		
		Licht	Donker	Totaal	Licht	Donker	Totaal
onverlicht	881	12.2	15.1	27.3	142.9	92.1	235.0
verlicht	613	11.1	10.5	21.7	164.7	84.7	249.4
Totaal	1494	23.3	25.7	49.0	307.6	176.8	484.4

Ophoging van het aantal slachtoffers voor 100km verlichte wegvakken

Slachtoffers per km weglengte

		Licht	Donker	Totaal	Licht	Donker	Totaal
onverlicht		0.07	0.09	0.16	0.81	0.52	1.34
verlicht		0.09	0.09	0.18	1.34	0.69	2.03
Totaal		0.08	0.09	0.16	1.03	0.59	1.62

Doelgroep voor de maatregel

	Lengte	Doden			Ziekenhuisgewonden		
		Licht	Donker	Totaal	Licht	Donker	Totaal
verlicht	714	13.0	12.2	25.2	191.6	98.5	290.1

Voor het doorrekenen van specifieke scenario's zijn op dezelfde wijze aanvullende uitsplitsingen van de doelgroep bepaald, zie tabel 5.1.

Bijlage 3 Verslag Workshop Verlichting

Op 15 juni 2011 van 13:00 tot 17:00 uur vond in Soesterberg bij TNO een workshop plaats om de maatregel Verlichting uit bij lage intensiteiten en de effectstudie te bespreken met verlichtingsexperts. In deze bijlage is het verslag opgenomen.

Locatie: TNO Soesterberg

Verslag: Jeroen Hogema (TNO)

Deelnemers:

- Pieter van Vliet (DVS, voorzitter)
- Jan Hoskam (DVS)
- Rob Eenink (SWOV)
- Dick de Waard (RUG)
- Ton van den Brink (DVS)
- Paul Schepers (DVS)
- Jeroen Hogema (TNO)
- Bob Hamel (DVS)
- Richard van der Horst (TNO)

Introductie (Jan Hoskam)

Vanuit het oogpunt van duurzaamheid (energiebesparing) en kostenreductie wordt door het Rijkswaterstaat een maatregel voorbereid om de openbare verlichting (OV) langs het hoofdwegennet uit te schakelen bij lage intensiteiten.

De focus voor de workshop ligt op objectieve verkeersveiligheidseffecten. Dit betreft het korte-termijn traject, waarin het alleen gaat om het uitschakelen van verlichting. Later volgt een tweede traject met een bredere insteek (bv. dynamische openbare verlichting, LED-verlichting, etc.).

In een discussie worden ook andere effecten van OV benoemd: verhoging van het comfort van de weggebruiker; vooral oudere bestuurders die bij afwezigheid van OV avond-ritten mogelijk niet meer maken. Dergelijke effecten zijn niet het onderwerp van deze workshop, evenmin als (politieke) afwegingen tussen verkeersveiligheid en de kosten van OV.

Deel I Aantoonbaarheid effecten

Aan de hand van een PowerPoint presentatie licht Paul de belangrijkste uitkomsten van zijn rapport toe. Een belangrijke slide is nr 7:

In hoeverre een aantoonbaar effect

	Effect grootte	Aantoonbaarheid
Gemiddeld	23%	Groot, ook gevonden in eerder studies
Per tijdvak:		
17:00-23:00 & 5:00-9:00 uur (avond & ochtend)	30%	Groot: resultaat ondersteunt hypothesen, significant effect (zelfs groter bij iets aangepaste methode)
23:00-5:00 uur	13%	Klein: niet significant

Slide 7

Belangrijkste discussiepunt hierbij is hoe om te gaan met de 13% die in het tijdvak 23:00-5:00 gevonden is (d.w.z. 13% reductie van het aantal slachtoffers in die periode). Dit effect is niet statistisch significant, wat weer samenhangt met het feit dat deze analyse op relatief weinig waarnemingen gebaseerd is (statistische power is laag). De beste schatting op basis van de ongevalstudie is een effect van 13%, maar dat effect is niet significant.

De suggestie wordt gedaan om na te gaan welke kenmerken de ongevallen in dit tijdvak hebben, en of er een grens qua intensiteit aan te wijzen is waaronder de effecten sterker verlaagd zijn. De indruk is dat vooral enkelvoudige ongevallen in dit tijdvak / bij lagere intensiteiten domineren.

Er volgt enige discussie over Tabel 4.2 uit het rapport:

Tabel 4.2 Verdeling van doden en ziekenhuisgewonden naar ongevaltypen (DVS/BRON 2005-2009)*

Intensiteit in motorvoertuigen per uur per rijstrook	Totaal	Doden en ziekenhuisgewonden bij:			
		aantal	slecht weer	bocht	kopstaart
0 - 100	228	21	26	65	136
100 - 200	166	6	24	43	85
200 - 400	308	32	27	94	158
400 - 800	644	20	56	181	327
800 - 1100	543	29	47	185	230
meer dan 1100	775	67	48	399	235
Totaal	2664	175	228	967	1171
Percentage van het totaal per klasse					
0 - 100		9%	11%	28%	60%
100 - 200		4%	14%	26%	51%
200 - 400		10%	9%	31%	51%
400 - 800		3%	9%	28%	51%
800 - 1100		5%	9%	34%	42%
meer dan 1100		9%	6%	51%	30%
Totaal		7%	9%	36%	44%

* De ongevallen in de tabellen overlappen elkaar, alleen kopstaart en enkelvoudig zijn gescheiden categorieën

Wat opvalt, is dat bij intensiteit 0-100 /u nog steeds vrij hoge aantallen slachtoffers te betreuren zijn. Het aantal voertuigen is laag, het aantal slachtoffers relatief hoog: kennelijk een situatie met hoog risico. De hoogte van het risico staat los van de vraag hoe effectief de verlichting is bij deze lage verkeersintensiteiten.

De vraag wordt gesteld of er uit het buitenland studies bekend zijn die hier meer informatie over verschaffen. De meta-analyse van Elvik is het meest relevant, maar de vergelijkbaarheid met de Nederlandse situatie lijkt beperkt omdat in andere landen in vergelijking met Nederland bij lagere intensiteiten OV wordt geplaatst.

T.a.v. effecten van OV op het rijgedrag: in diverse studies is een kleine snelheidstoename (enkele km/u) gevonden in vergelijkingen met versus zonder OV (DYNO; metingen op de A50 in een studie over werkbelasting, door TNO in opdracht van AVV; een Noorse studie).

N.B.: De nu uitgevoerde analyse is gebaseerd op een vergelijking tussen wegvakken met, en wegvakken zonder OV (correlationeel).

Al met al wordt het volgende geconcludeerd.

- Het gepresenteerd werk ziet er goed uit. Op onderdelen zijn er aanscherpingen mogelijk maar er is geen alternatieve, structureel betere aanpak.
- De 13% die tussen 23:00 en 5:00 is gevonden is niet significant, maar daarmee nog niet verwaarloosbaar.

In het eindrapport zal nog een conditie 1d worden toegevoegd: "uitschakeling onder de 100 mtv/uur/rijstrook".

Nog een andere optie die wordt overwogen: de combinatie van het tijdvenster 23:00-05:00 met intensiteitscriterium < 100 mtv/u/strook.

Deel II Hoe kan de maatregel voor veiligheid optimaal worden ingericht

Een aantal bijzondere situaties wordt bediscussieerd.

Verhoging van de snelheidslimiet naar 130 km/u

Wat is het gecombineerde effect van verhogen van de snelheidslimiet en het uitschakelen van OV op de verkeersveiligheid? Er zijn trajecten waar nu de limiet verhoogd is naar 130 km/u die ook in aanmerking komen voor de maatregel "OV uit". Wat het gecombineerde effect zal zijn (additief of interacterend) is niet bekend. Eerder is genoemd dat OV een effect kan hebben op snelheid. Dat zou een rol kunnen spelen bij de relatie tussen de effecten van een limietverhoging en het uitschakelen van OV.

Aantal rijstroken

Gevoelsmatig maakt het voor een bestuurder nogal uit hoeveel rijstroken de onverlichte snelweg heeft: 2x4-strooks (wat nu altijd verlicht is) zou ten opzichte van 2x2-strooks een wel erg grote donkere vlakte kunnen worden (minder overzicht, positie op de weg lastiger te bepalen). Of dat inderdaad een probleem wordt is niet goed te voorspellen. Wel wordt geconstateerd dat een randvoorwaarde voor "verlichting uit" is dat de markering voldoende goed moet zijn.

Spitsstroken

Op dit moment geldt dat bij opengestelde spitsstrook bij duisternis de verlichting altijd aan zal zijn. Aanbevolen wordt om dat zo te houden, gezien de afwijkende situatie bij opengestelde spitsstroken (verkeer rijdt dicht bij de geleiderail, markering bij in- en uitvoegingen is afwijkend, een vluchtstrook ontbreekt).

Weersomstandigheden

Het ligt voor de hand om bij extreem weer (neerslag, mist, gladheid) de verlichting aan te houden. De vraag is hoe een wegverkeersleider of operator in een centrale hier eenduidige instructie in te geven. De weerwaarschuwingen van het KNMI zijn verkend (bestaat in de gradaties geel/oranje/rood). Niveau geel kan op regionaal niveau gehanteerd worden, maar is volgens KNMI niet geschikt voor deze toepassing. Gesuggereerd wordt om nog eens na te gaan hoe er bij andere maatregelen wordt omgegaan met operationaliseren van 'slecht weer': plus- en spitsstroken, DYNO, Dynamax.

Werk in uitvoering (WIU)

In principe geldt dat bij WIU openbare verlichting toegepast wordt (conform ARBO). N.B. 1: op dit moment hebben we het over uitschakelen van OV. Op termijn kan dit resulteren in niet-aanleggen van OV, wat dan bij WIU zou betekenen dat er dan tijdelijke masten geplaatst moeten worden (met consequenties voor kosten en de veiligheid van het plaatsen van de tijdelijke verlichting zelf).

N.B. 2: ook nu zijn er wel voorbeelden van WIU zonder dat er OV is (met instemming van de arbeidsinspectie). Hierbij worden rijdende afzettingen gebruikt met LED-panels.

Geconcludeerd wordt dat het voor de verkeersveiligheid gunstig is om bestaande systematieken te handhaven.

Op- en afritten

Alle op- en afritten aanwijzen als punt waar OV moet blijven branden lijkt niet nodig, en zou wel het energiebesparend effect van de maatregel enorm reduceren. Wel wordt aanbevolen om OV ingeschakeld te laten als de op/afrit niet aan de richtlijnen voldoen (bv. bij krappe bogen, korte invoegers, geen afpellende snelheidslimiet maar in één keer van 120 naar 50 km/u, etc.).

Een tweede uitzondering is op/afritten waar hoge intensiteiten erbij komen / eraf gaan. Een hard criterium is niet te geven.

Voor nog openstaande vragen wordt aanbevolen om gedragsonderzoek in overweging te nemen. Rijdend in een geïnstrumenteerd voertuig kunnen proefpersonen tweemaal een bepaald traject rijden (zowel met als zonder OV), en zijn alle overige omstandigheden zoveel mogelijk gelijk. Effecten op rijgedrag en beleving kunnen zo goed worden aangetoond. Dit geldt voor op- en afritten, en ook voor verschillende omgevingen van de weg (bv de ring rond Rotterdam met veel verlichting direct naast de weg, versus landelijke gebieden zonder enige verlichting rondom).

Knooppunten

Tot nu toe is ervan uitgegaan dat op knooppunten de verlichting standaard aan zal blijven. Dit uitgangspunt werd nog wel ter discussie gesteld: mogelijk kan op knooppunten die aan de richtlijnen voldoen de OV worden uitgeschakeld.

Echter, alle berekeningen uit het concept-rapport zijn gebaseerd op de aanname dat op knooppunten de OV blijft branden. Hieraan nu gaan tornen voert in dit stadium te ver.

Welke compenserende maatregelen zijn in dit verband mogelijk

Als randvoorwaarde is gesteld dat markering voldoende goed moet zijn en blijven.

Afronding

Pieter van Vliet dankt de aanwezigen voor hun inbreng. Paul Schepers zal e.e.a. verwerken in het rapport.