

1999

JL

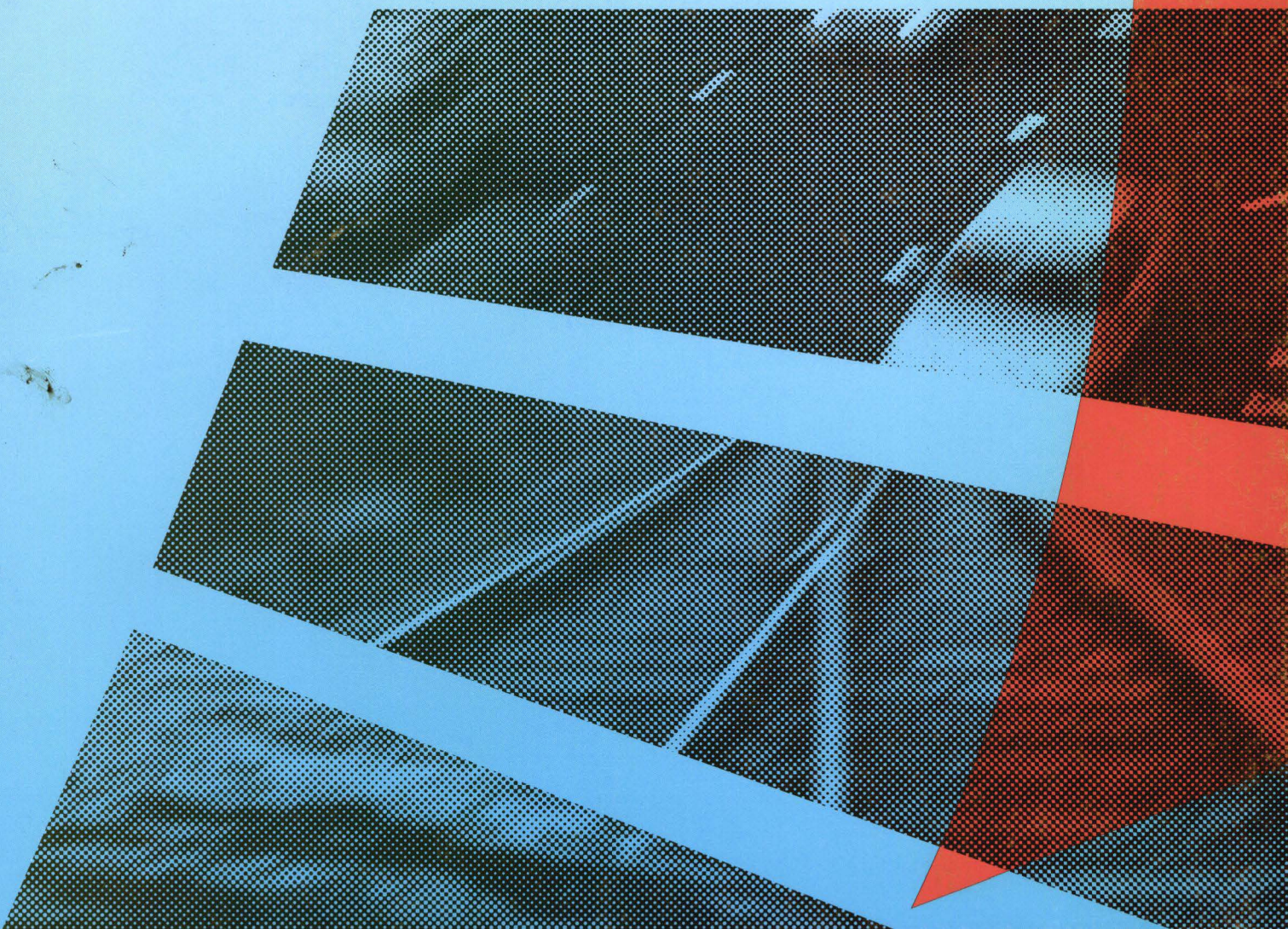
Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Adviesdienst Verkeer en Vervoer

# Dynamische openbare verlichting (DYNO)

Covernota



# Dynamische openbare verlichting (DYNO)

Covernota

Januari 1999

---

Colofon

*Redactie*

E. Folles (RWS-AVV)

J. IJsselstijn (RWS-AVV)

J.H. Hogema (TNO-TM)

A.R.A. van der Horst (TNO-TM)

*Vormgeving en productie*

Inpladi B.V.

*© Copyright*

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1999

### **Management-uitreksel 4**

#### **1 Inleiding 6**

- 1.1 Algemeen 6
- 1.2 Achtergrond 6
- 1.3 Doelstelling project 8
- 1.4 Project-aanpak 8

#### **2 Onderzoeksopzet 10**

- 2.1 Ontwerp van het pilot-systeem 10
  - 2.1.1 Proeftraject 10
  - 2.1.2 Voorlopig schakelregime 11
  - 2.1.3 Technische realisatie 11
- 2.2 Onderzoeksopzet 14
  - 2.2.1 Verkeerskundig onderzoek 14
  - 2.2.2 Kosten-batenanalyse 15

#### **3 Verkeerskundig onderzoek 17**

- 3.1 Verkeersgedrag 17
  - 3.1.1 Meetlusgegevens 17
  - 3.1.2 Video-observatie 17
  - 3.1.3 Geïnstrumenteerd voertuig 18
- 3.2 Ongevallen 18
- 3.3 Verkeersafwikkeling 19
- 3.4 Beleving 20

#### **4 Kosten-batenanalyse 21**

#### **5 Synthese resultaten en discussie 23**

- 5.1 Wel of geen schakelbare verlichting 23
- 5.2 Schakelregime 24

#### **6 Conclusies en aanbevelingen 26**

- 6.1 Algemeen 26
- 6.2 Concrete gevolgen voor het verlichtingssysteem 26

#### **Referenties 28**

Rijkswaterstaat overweegt verlichting op autosnelwegen dynamisch te gaan schakelen. Onder alle omstandigheden wordt een verlichtingsniveau aanbevolen dat voldoende hoog is, gegeven de verkeers- en weersomstandigheden, terwijl de weg niet onnodig sterk wordt verlicht. In opdracht van de Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer is een praktijkproef uitgevoerd naar het effect van dergelijke dynamische openbare verlichting op het rijgedrag en de verkeersveiligheid.

In eerste instantie is op basis van een wegbeeldanalyse een voorlopig schakelregime vastgesteld. Naast de *normale* verlichtingssterkte (100%) wordt hierbij gebruik gemaakt van een *verlaagd* (20%) en een *verhoogd* (200%) verlichtingsniveau. Bij duisternis wordt minstens het lage niveau ingeschakeld. Bij normale tot hoge verkeersintensiteit wordt het normale niveau ingeschakeld, evenals bij ongunstige weers- of verkeersomstandigheden (neerslag, gladheid, werk in uitvoering). Het 200%-niveau wordt relatief sporadisch toegepast, namelijk bij combinaties van speciale verkeers- en weersomstandigheden (b.v. regen bij hoge verkeersintensiteit), bij mist, of bij calamiteiten.

Dit voorlopige schakelregime is toegepast in de praktijkproef, waarin de effecten op het rijgedrag zijn onderzocht. De resultaten laten zien dat het normale niveau van verlichting leidt tot geringe gedragsaanpassingen: de gemiddelde rijsnelheid nam iets toe (ca. 0,7 km/u) en het aandeel kritische situaties (korte volgtijden, korte TTC's) steeg met maximaal 1%. Mede gegeven het uit de literatuur bekende positieve effect van conventionele verlichting op de verkeersveiligheid wordt van deze gedragsaanpassingen geen negatief effect op de verkeersveiligheid verwacht.

Verschillen tussen 100% en 200% werden in het rijgedrag voor de combinatie van hoge verkeersintensiteit met neerslag niet gevonden. Overige situaties waarin het voorlopige schakelregime 200% voorschrijft zijn relatief zeldzaam en de meerwaarde van een hoger verlichtingsniveau in deze situaties wordt beperkt ingeschat.

Uit het belevingsonderzoek blijkt dat het concept van dynamische openbare verlichting brede steun krijgt van automobilisten. Er is geen enkele aanwijzing gevonden dat het lage verlichtingsniveau onder gunstige omstandigheden als te laag wordt ervaren.

In een kosten-batenanalyse is nagegaan hoe de aanlegkosten van DYNO (20-100-200%) op het proeftraject zich verhouden tot de energie- en milieukosten (CO<sub>2</sub>-uitstoot energiecentrale). Hierbij werd vastgesteld dat zowel de aanlegkosten als het totaal van energie- en milieukosten hoger lagen dan bij een conventionele installatie. Daardoor kan dit proef systeem zich niet terugverdienen op basis van energie- en milieukosten.

Wanneer het DYNO-systeem alleen met het lage en normale niveau wordt uitgerust zijn de aanlegkosten ook hoger dan bij een conventionele installatie, maar de energie- en milieukosten lager dan bij een conventionele installatie. Daardoor kan dit systeem zich in principe terugverdienen op basis van energie- en milieukosten. Dit ondersteunt het regeeringsbeleid om de

---

CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen. De terugverdien-tijd hangt sterk af van de lokale situatie en de tariefstructuur waarin het systeem wordt toegepast.

Derhalve wordt aanbevolen om bij toekomstige aanleg of vervanging van openbare verlichting langs autosnelwegen te overwegen een DYNNO 20-100-systeem toe te passen in plaats van conventionele verlichting. Het lage niveau dient hierbij 0,2 cd/m<sup>2</sup> te bedragen en het normale niveau 0,7 à 1,0 cd/m<sup>2</sup> (overeenkomstig het niveau dat voor het wegvak in kwestie voor conventionele verlichting gekozen zou worden).

Het voorstel voor het definitieve schakelregime luidt dat bij duisternis het normale niveau geschakeld wordt, behalve bij gunstige weersomstandigheden en een lage verkeersintensiteit. In dat geval wordt het verlaagde niveau geschakeld. Als schakelcriterium wordt voor de overgang van het normale naar het lage niveau een intensiteit van 800, en voor het omschakelen van het lage naar het normale niveau een intensiteit van 1100 voertuigen per uur per rijstrook voorgesteld.

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Algemeen

Met de toenemende verkeersdrukte worden steeds meer Nederlandse autosnelwegen uitgerust met openbare verlichting. Tot dusver wordt hierbij een schakelregime toegepast dat de verlichting binair aanstuurt: de verlichting is uit bij daglicht en wordt bij duisternis ingeschakeld op een vast luminantie-niveau (ongeveer 1 cd/m<sup>2</sup>).

Verondersteld wordt dat een dergelijk niveau van verlichting pas nodig is bij een zekere verkeersdrukte, en bij bepaalde weersomstandigheden. Dat impliceert dat er sprake is van verspilling indien de verlichting gedurende de gehele nacht te allen tijde op volle sterkte blijft branden. Mogelijk zou onder bepaalde gunstige omstandigheden volstaan kunnen worden met een verlaagd niveau van verlichting. Anderzijds kunnen er zich specifieke situaties voordoen waarbij zelfs een hoger verlichtingsniveau dan het huidige gewenst is (bijvoorbeeld extreme verkeersdrukte, zeer slecht weer of wegwerkzaamheden).

Vanuit deze gedachten ontstond het idee om openbare verlichting dynamisch te gaan schakelen. Daarbij is het de bedoeling dat onder alle omstandigheden een verlichtingsniveau wordt aangeboden dat voldoende hoog is, gegeven de verkeers- en weersomstandigheden, terwijl de weg niet onnodig sterk wordt verlicht (Folles, 1993).

Rijkswaterstaat overweegt het gehele hoofdwegennet uit te rusten met dergelijke dynamische openbare verlichting (DYNO). Voordat hiertoe wordt overgegaan is door de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat (RWS-AVV) op de Rijksweg A12 een praktijkproef uitgevoerd met DYNO.

Deze covernota doet verslag van de DYNO-praktijkproef. Hoofdstuk 2 beschrijft de praktische realisatie van schakelbare verlichting op autosnelwegen, de onderbouwing van een voorlopig schakelregime en de onderzoeksopzet. Vervolgens worden in Hoofdstuk 3 de uitkomsten van de praktijkproef gepresenteerd ten aanzien van het verkeerskundige onderzoek (de effecten op het verkeersgedrag, verkeersafwikkeling, ongevallen en de beleving van weggebruikers). In Hoofdstuk 4 worden de kosten en baten van verschillende DYNO-varianten tegen elkaar afgezet. Hoofdstuk 5 vat de conclusies van de praktijkproef samen en in Hoofdstuk 6 worden aanbevelingen gegeven voor het toekomstig gebruik van dynamische openbare verlichting en het toe te passen schakelregime.

## 1.2 Achtergrond

Het beleid dat door Rijkswaterstaat is gevoerd ten aanzien van openbare verlichting is in de periode tussen 1970 en 1990 gebaseerd op een aantal kerndocumenten.

---

Dit zijn:

- De "Aanbevelingen voor Openbare Verlichting" van de NSVV uit 1974, herzien in 1977 (Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, 1974, 1977);
- De bijdrage van Ir. T.H.Tan aan het Wegencongres "Wegontwerp en verlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid" (Tan, 1974);
- Een brochure van de Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland (SVEN, later opgegaan in NOVEM): "Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting" (Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland, 1981).

In het eerste document staat dat voor het verlichten van autosnelwegen *tenminste* een wegdekluminantie vereist is van 2 cd/m<sup>2</sup>. Bij deze waarde zijn objecten op de weg goed zichtbaar en kan een behoorlijke besparing in nachtelijke ongevallen worden verkregen. De NSVV liep hiermee in de pas met internationale aanbevelingen van de Commission International de l'Eclairage (CIE; zie onder andere CIE, 1973). Het "tenminste" is onder de druk van de energiecrisis in de 70-er jaren in de uitgave van 1977 gewijzigd in "gelijk aan".

Binnen Rijkswaterstaat werd ernstig getwijfeld aan het door de NSVV aanbevolen lichtniveau. Met de beperkte budgetten diende steeds een afweging gemaakt te worden tussen kosten en baten. Op beperkte schaal uitgevoerd onderzoek gaf aanwijzingen dat ook met lagere niveaus een uitstekende wegverlichting werd verkregen en dat een vergelijkbare besparing in ongevallen gehaald kon worden. Op basis hiervan presenteerde Tan in 1974 een voorstel waarbij voor autosnelwegen een waarde voor de wegdekluminantie van 1 cd/m<sup>2</sup> werd genoemd. Deze waarde is daarna binnen Rijkswaterstaat als norm gehanteerd.

Het door Rijkswaterstaat gehanteerde beleid werd nog eens ondersteund door een uitgave van de SVEN. Deze brochure, die een aanzet diende te geven voor een beperking van het energieverbruik, bevatte o.a. voorstellen voor de lichtniveaus op autosnelwegen. De genoemde waarden zijn 0,6 tot 1 cd/m<sup>2</sup>, afhankelijk van de situatie. Een groot verschil met de voorgaande documenten was, dat deze keer over nieuwwaarden werd gesproken in plaats van gebruikswaarden.

Door de industrie werd getwijfeld aan het beleid dat door Rijkswaterstaat werd gevoerd. Internationaal zou Nederland ernstig uit de pas lopen. In overleg tussen de Hoofddirectie van Rijkswaterstaat en Philips is daarom in 1986 besloten een studiereis te houden om het Nederlandse beleid te toetsen aan het beleid dat in diverse andere landen werd gehanteerd (Rijkswaterstaat-Philips Nederland, 1986). De conclusies van de studiereis waren dat er in de verschillende landen grote variaties zijn in de gehanteerde lichtniveaus en dat Nederland daarbij in de zeer lage categorie valt. Er worden daarom, naast vele andere, aanbevelingen gedaan om nader onderzoek uit te voeren en daarbij vooral meer kennis te verzamelen over de effecten van het lichtniveau op de verkeersveiligheid.

In een evaluatie overleg tussen Rijkswaterstaat en Philips wordt op 20 juni 1987 bij punt 5 in het verslag het volgende vastgelegd:  
*"Het zou goed zijn de inmiddels verzamelde kennis in een gezamenlijk demonstratie-project vast te leggen. Daarbij zou tevens gebruik moeten worden gemaakt van nieuwe technieken en gedachten ook buiten het gebied van wegverlichting. Nieuwe technieken als dimmen, niveau aanpassen aan de verkeersintensiteit, weersomstandigheden en energiebesparing enz.*



---

*zouden daarbij in gedachte worden genomen. Ook andersoortige verlichting als traditionele (laag of in wegdek) zouden gezien kunnen worden. (...) Philips is bereid een dergelijk project op non profit basis uit te voeren."*

Uiteindelijk heeft deze afspraak geleid tot het proefproject dynamische wegverlichting (DYNO). Deze internationale oriëntatie heeft eveneens laten zien dat in principe ook in diverse andere landen schakelbare verlichting goed toegepast kan worden (Rijkswaterstaat-Philips Nederland, 1986).

### 1.3 Doelstelling project

Het doel van het proefproject DYNO is door middel van een praktijkproef na te gaan welk verlichtingsniveau onder welke omstandigheden verantwoord toegepast kan worden ten aanzien van gedrag, veiligheid en beleving, en hoe een dergelijke verlichting in de praktijk uitpakt ten aanzien van energieverbruik, onderhoud en kosten.

Concreet zijn de doelstellingen van het DYNO-concept geformuleerd in termen van:

- veiligheid;
- benutting;
- energiebesparing;
- milieu;
- beheer en onderhoud.

### 1.4 Project-aanpak

Een organogram van het project wordt gegeven in Figuur 1.

De projectleiding berustte bij RWS-AVV. Het project was als volgt gefaseerd:

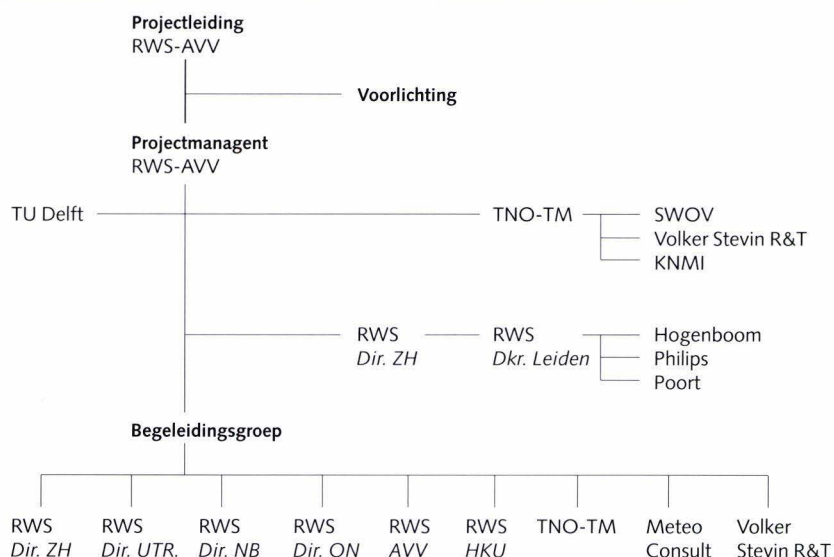
- Fase 1 wegbeeld-analyse en literatuurstudie
- Fase 2 het vastleggen van een voorlopig schakelregime
- Fase 3 onderzoek naar het verkeersproces
- Fase 4 het opstellen van een synthese/aanbeveling

Bij de opzet en evaluatie van de praktijkproef was TNO-TM betrokken. Bij de uitvoering van de praktijkproef waren Volker Stevin Rail & Traffic en het KNMI betrokken als leveranciers van data. De Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) voerde een inventarisatie van ongevalsgegevens uit. Verder zijn door de TU Delft effecten van openbare verlichting op de capaciteit en op de verkeerskundige kosten-baten onderzocht. Bij de technische realisatie waren de Directie Zuid-Holland en de Dienstkring Leiden van de Rijkswaterstaat betrokken. Hogenboom Spijkenisse B.V. was de hoofdaannemer voor het plaatsen van de installatie. De dimbare lampen en de armaturen werden verzorgd door Philips Nederland Licht B.V., en Poort Handels- en Ingenieursbureau B.V. was verantwoordelijk voor het ontwerp en de levering van de voedings-, lichtregel- en besturingsinstallatie.

Bij aanvang van het project werd een begeleidingsgroep ingesteld die fungeerde als klankbord ter beoordeling van de projectresultaten.

Figuur 1

Organogram van het DYNO-project



Foto

Begeleidingsgroep pilot DYNO

De samenstelling van de begeleidingsgroep ten tijde van deze rapportage was als volgt:

- [Vlnr. 2] E.Folles (voorz.) RWS-AVV,
  - mw. L.R.Spiekman (secr.) TNO-TM,
  - [9] Ing.T.D.J.van den Brink RWS-AVV,
  - Ing. W.J.M.Traag RWS-ON,
  - [3] G.van Kekem RWS-HKU,
  - Ing. A.den Hollander RWS-ZH,
  - [6] D.Brevoord RWS-U,
  - [10] mw. Ing. J. IJsselstijn RWA-AVV,
  - [8] A.C.C.M. Adams RWS-NB,
  - mw. N.Nazmi RWS-ZH,
  - [1] Ir. F.A.J. van Waes Volker Stevin R&T,
  - Ing. M.Noort Meteo Consult,
  - [4] Dr.Ir. A.R.A. van der Horst TNO-TM,
  - [11] Ir. J.H.Hogema TNO-TM.
- Eerder hebben de volgende personen deel uit gemaakt van de begeleidingsgroep:
- [7] Drs.N.A.Kaptein TNO-TM,
  - [5] Ing. B.M.A.Uiterwaal RWS-ZH,
  - Ing. P.J.van der Veen RWS-U.



## 2 Onderzoeksopzet

### 2.1 Ontwerp van het pilot-systeem

#### 2.1.1 Proeftraject

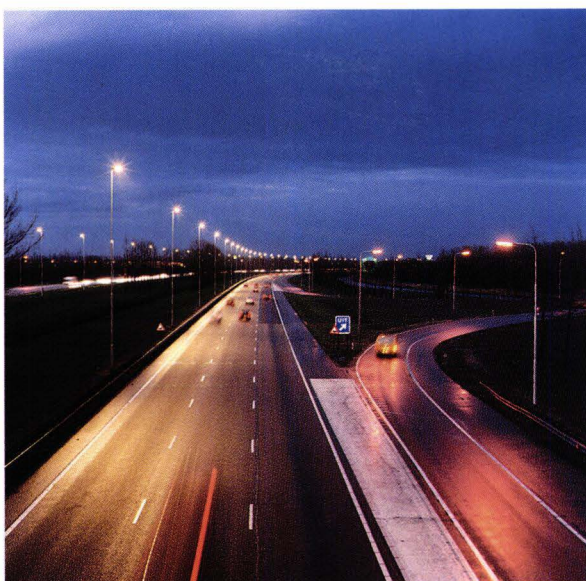
Het proeftraject waarop DYNO aanvankelijk werd geïnstalleerd was op de zuidelijke en noordelijke rijbaan van de A12, ruwweg vanaf het Gouwe Aquaduct (km 30,6) tot voorbij de aansluiting Nieuwerbrug (km 41,5). Later werd de installatie in oostelijke richting uitgebreid tot km 44,8 (zie Figuur 2), resulterend in een proefvak van circa 14 kilometer. Dit gedeelte van de A12 was voorheen nog onverlicht.

Het gehele traject kent een snelheidslimiet van 120 km/u. De weg bestaat uit twee rijbanen, gescheiden door een (zeer brede) middenberm, zie Figuur 3. Elke rijbaan beslaat drie rijstroken en een vluchtstrook. Het grootste gedeelte van de zuidelijke rijbaan is ingericht met dicht asfaltbeton (DAB). De intensiteit op het proefvak in 1995 bedroeg circa 210.000 motorvoertuigen per etmaal (werkdagen, zie RWS-AVV, 1995).

**Figuur 2**  
Overzicht van het proefvak met dynamische openbare verlichting (DYNO)



**Figuur 3**  
Foto van wegsituatie op het proefvak RW12, afslag Reeuwijk in de richting Utrecht (met DYNO-verlichting)



### 2.1.2 Voorlopig schakelregime

Als eerste is in een literatuurstudie nagegaan welke elementen van de weg-omgeving visueel kritisch zijn voor het rijden op autosnelwegen (Kaptein, Alferdinck & Van der Horst, 1995). Hieruit kon worden afgeleid in welke mate de rijtaak verschilt tussen verlichte en onverlichte wegen. Op basis van een analyse van het wegbeeld van het proefvak op rijksweg A12 is vervolgens nagegaan wat het te verwachten gevolg is van de aanwezigheid van openbare verlichting op de rijtaak aldaar.

Met de literatuurstudie en de wegbeeldanalyse als basis is een voorlopig schakelregime opgesteld (Alferdinck, Kaptein & Van der Horst, 1996). In het systeemontwerp is uitgegaan van een installatie met vier schakelstanden:

- uit;
- een normaal niveau (1 cd/m<sup>2</sup>, overeenkomend met de meest gebruikelijke waarde voor conventionele verlichting);
- een laag niveau (0,2 cd/m<sup>2</sup>);
- een hoog niveau (2 cd/m<sup>2</sup>).

Deze standen worden in het voorlopige schakelregime als volgt toegepast: Als het natuurlijk licht een horizontale verlichtingssterkte geeft van minder dan 40 lx wordt minstens een laag lichtniveau ingeschakeld.

Als er in die situatie sprake is van speciale omstandigheden wordt een hoger lichtniveau ingeschakeld. Hiervoor gelden de volgende voorwaarden:

- bij een hoge verkeersintensiteit is een normaal lichtniveau van toepassing. Er wordt ingeschakeld bij meer dan 1000 en uitgeschakeld bij minder dan 600 voertuigen per uur per rijstrook. Dit hysteresemechanisme heeft tot doel ongewenst frequent in- en uitschakelen te voorkomen bij een fluctuerend verkeersaanbod. Een bijkomend voordeel voor het evaluatieonderzoek is dat binnen dit hysteresegebied zowel de lage als de normale schakelstand voor zal komen;
- bij neerslag wordt een normaal lichtniveau ingeschakeld;
- bij mist (zicht kleiner dan 140 m) wordt altijd een hoog lichtniveau ingeschakeld (zowel bij daglicht als bij duisternis);
- bij werk-in-uitvoering (WIU) wordt een normaal en bij calamiteiten een hoog lichtniveau aanbevolen;
- bij zeer gladde wegen, door aanhoudende ijzel en zware sneeuwval, wordt een hoog verlichtingsniveau ingeschakeld;
- bij combinaties van speciale verkeers- en weersomstandigheden geldt een hoog lichtniveau.

Deze schakelcriteria worden samengevat in tabel 1.

Tabel 1

Overzicht van het voorlopig schakelregime. Per combinatie van weersconditie, verkeersdrukke en lichtniveau wordt aangegeven of verlichting wordt aangeboden, en eventueel welk verlichtingsniveau wordt toegepast (laag=20%, normaal=100%, hoog is 200% ten opzichte van conventionele verlichting).

Weersomstandigheden	Daglicht	Duisternis		
		Niet druk	Druk, file, WIU	Calamiteiten
Goed	Geen	Laag	Normaal	Hoog
Neerslag	Geen	Normaal	Hoog	Hoog
Gladheid	Geen	Hoog	Hoog	Hoog
Mist	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog

### 2.1.3 Technische realisatie

Er is een bewakings- en besturingscentrale van het DYNO-systeem geplaatst in het gebouw van het rayonkantoor van de Dienstkring Leiden te Bodegraven (zie Figuur 2). De processturing van DYNO (Folles & Poort, 1997) is gebaseerd op de gegevens welke worden verkregen uit de winpunten voor

---

verkeersgegevens (het zogenaamde telpunt), en informatie van een gladheidsmeldstation (GMS), zie Figuur 2 en Figuur 4. Het GMS-station levert naast de bestaande gegevens zoals gladheid en temperatuur, extra informatie over zicht, neerslag en windsnelheid.

In de centrale wordt bepaald wat de gewenste schakelstand is. Deze wordt vanuit de centrale digitaal verzonden naar langs de weg geplaatste verdeel- en regelstations (Figuur 4).

De communicatie tussen de centrale computer en de regelinstallatie wordt verzorgd door een besturingssysteem voor openbare verlichting met terugmelding van GeoSys GmbH uit Leipzig, Duitsland. Iedere 5 minuten (instelbaar) worden alle stations gecontroleerd op verbinding, status, storingen en opgenomen vermogen. Storingen worden direct gemeld op een beeldscherm en op een printer.

De stuur-eenheden in de schakelkasten vertalen het digitale signaal naar schakelbevelen en/of melden hun status terug. De regelaars worden door middel van een vrij programmeerbare Programmable Logic Controller (PLC) door het management-systeem van GeoSys aangestuurd. De schakelcommando's worden door relais doorgegeven aan de schakelinstallatie; de regelaars zijn volledig onafhankelijk van elkaar aan te sturen. De instelling van de lichtstroom van de lampen is gerealiseerd door toepassing van 10 WA lichtregelaars van het fabrikaat INTELUX uit Staad Zwitserland.

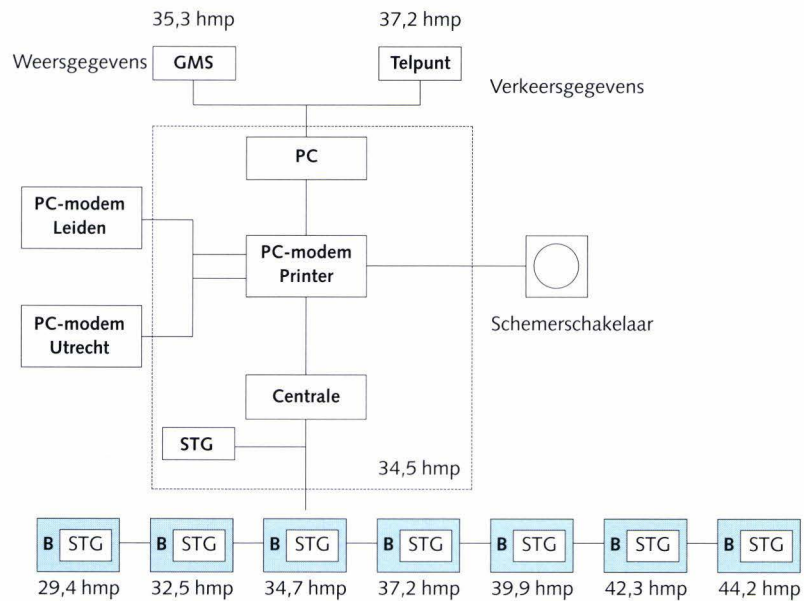
Bij een uitval van de PC, stuur- en/of bewakingscentrale, communicatie tussen centrale en onderstation, PLC en/of stuur-eenheid wordt de verlichting door de schakelklok (BSU van GeoSys) naar een lichtniveau van 100% geschakeld. De BSU, waarin een volledige jaarkalender is geprogrammeerd, neemt dan de besturing over van de regelaar. Hierdoor wordt gegarandeerd dat de verlichting altijd wordt ingeschakeld. Er is nu een besturingssysteem gerealiseerd met de grootste mogelijke vrijheid bij het instellen van parameters en de grootste zekerheid dat bij storingen het licht op de weg altijd ingeschakeld wordt.

Om de gewenste niveaus te kunnen bereiken is gebruik gemaakt van een hogedruk natrium lamp, type SON-T plus 400W. Dit type lamp kan van 5% tot 100% van het volle vermogen continue geregeld worden.

De masthoogte is 15 m, met een onderlinge afstand van 50 m. Er is sprake van een enkelzijdige mastopstelling (links). Het armatuurtype is SGS 306 400T van Philips. De lichtkap steekt bij dit type onder het afscherpende deel van het lampcompartiment uit, waardoor ook licht naar opzij wordt uitgestraald. Dit betekent dat de lampen over grote afstand door weggebruikers kunnen worden waargenomen ('geleidend effect').

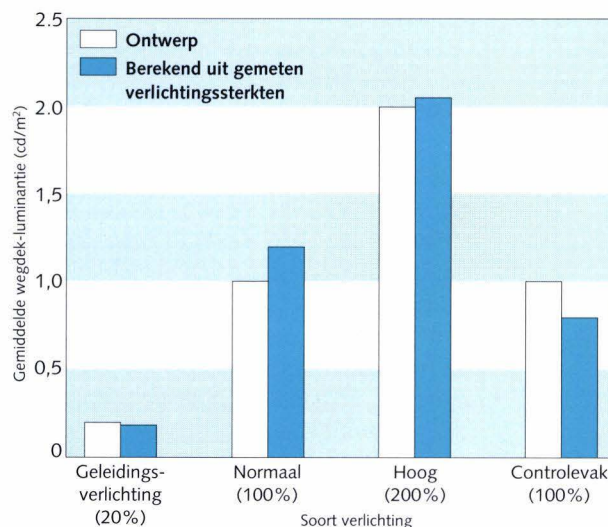
De gewenste waarden van de lampuitsturing van de SON-T verlichting zijn vooraf ingesteld op de INTELUX regelaars en omvormers. Afhankelijk van de uitsnijding wordt tevens het opgenomen vermogen gereduceerd. Het opgenomen vermogen bij het laagste lichtniveau bedraagt slechts 20% van het normaal geïnstalleerde vermogen voor een nominale luminantie van 1 cd/m<sup>2</sup> (100%). Het opgenomen vermogen bij het 100%-niveau is vergelijkbaar met het geïnstalleerde vermogen van een gelijke niet-geregelde installatie met SON-T 250W lampen.

**Figuur 4**  
Schematische weergave van de processturing van DYNO



Er zijn beperkte lichtmetingen uitgevoerd om na te gaan of de verlichtingsniveaus op de weg overeenkomen met de ontwerpwaarden (Hogema & Kaptein, 1998). De gehanteerde meetmethode is een vereenvoudigde versie van de NSVV-methode (Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde 1990). Met een luxmeter werd de horizontale verlichtingssterkte gemeten in het proefvak (km 37,2), waarbij het systeem ten behoeve van de metingen handmatig geschakeld werd. Ook zijn metingen verricht in het controlevak van de praktijkproef (zie paragraaf 2.2) met normale openbare verlichting (km 47,6). Er werden metingen verricht naast de lichtpunten en tussen de lichtpunten, op beide zijlijnen van de linker rijstrook en op een denkbeeldige lijn 3,6 m links van de linkerijstrook. De luminanties van het wegdek zijn vervolgens berekend door de gemiddelde horizontale verlichtingssterkten te delen door een factor 11,9 (Alferdinck, Kaptein & Van der Horst, 1996). In Figuur 5 zijn deze (gemiddelde) wegdek-luminanties vergeleken met de ontwerp-luminanties.

**Figuur 5**  
Gemiddelde wegdek-luminanties (berekend uit gemeten verlichtingssterkten), vergeleken met ontwerpwaarden



---

De luminanties voor de schakelstanden 20% en 200% kloppen redelijk met de ontwerpluminanties. De luminantie voor het normale lichtniveau in het proefvak is een factor 0,2 te hoog en in het controlevak is deze luminantie een factor 0,2 te laag ten opzichte van de DYNO ontwerp-waarde van  $1,0 \text{ cd/m}^2$ .

Als maat voor de *gelijkmatigheid* werd de zogenaamde absolute gelijkmatigheid genomen. Dit is berekend door de minimale verlichtingssterkte te delen door de gemiddelde verlichtingssterkte (Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, 1990). Voor het proefvak is de gelijkmatigheid 0,58 (schakelstand 20%) respectievelijk 0,57 (schakelstand 100% of 200%) en voor het controlevak 0,55. Deze waarden liggen ruim boven de waarde van 0,4 die door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (1990) wordt aanbevolen.

## 2.2 Onderzoeksopzet

### 2.2.1 Verkeerskundig onderzoek

Op basis van metingen verricht tijdens de praktijkproef zijn vergelijkingen gemaakt van verschillende aspecten van verkeersgedrag met standaard openbare verlichting en met dynamische openbare verlichting (Hogema & Kaptein, 1998). De opzet van de evaluatiestudie was als volgt:

- een nulperiode (zonder openbare verlichting op het proefvak: januari 1996 t/m maart 1996);
- een voorperiode (normale verlichtingsniveau - 100%: december 1996 t/m januari 1997);
- en een naperiode (dynamisch verlichtingsniveau 20-100-200%: februari en maart 1997, december 1997 t/m maart 1998).

Hierbij is steeds gebruik gemaakt van een complementaire verzameling deelonderzoeken:

Aan de hand van *meetlusgegevens* is onderzocht hoe het snelheids- en volggedrag van de automobilisten is beïnvloed door het niveau van openbare verlichting, rekening houdend met andere factoren die het rijgedrag beïnvloeden (zoals neerslag, verkeersintensiteit, etc.). In alle meetperioden zijn continu, op individueel voertuigniveau meetlusgegevens ingewonnen. De meetlusgegevens zijn ingewonnen op twee locaties op de A12: in het DYNO-proefvak en op een controle-locatie met conventionele openbare verlichting (zie Figuur 2). In de analyses is van diverse aanvullende databestanden gebruik gemaakt (o.a. gladheidsmeldsysteem, uurlijkse zichtwaarnemingen, afzettingen, etc.)

Met behulp van *video-analyses* is onderzocht of het type openbare verlichting effect heeft op het zich voordoen van kritische ontmoetingen (conflict-situaties). Verwacht werd dat zulke ontmoetingen met name plaatsvinden bij een samenvoeging van verkeer, als gevolg van een relatief groot snelheidsverschil tussen het invoegend verkeer en het verkeer op de hoofdrijbaan. Het aanbrengen van adequate (schakelbare) verlichting op de hoofdrijbaan kan het invoegen mogelijk soepeler doen verlopen. Opnamen zijn gemaakt en geanalyseerd van de verkeerssituatie ter hoogte van de invoeging op ter hoogte van Reeuwijk (noordelijke rijbaan). Uit het videobeeld werd per passerend voertuig bepaald: de rijnsnelheid, het passage-tijdstip, de voertuigcategorie (personenauto, vrachtwagen) en de dwarspositie (rijstrook, invoegstrook of bezig met invoegmanoeuvre).

---

Een veldexperiment met een *geïstrumenteerd voertuig* maakte het mogelijk om (naast snelheids- en volggedrag) te onderzoeken of het type openbare verlichting effect heeft op het stuurgedrag. Hierbij is gebruik gemaakt van de geïstrumenteerde auto 'ICACAD' (Instrumented CAR for Computer Assisted Driving). Deze auto was voorzien van meetinstrumenten waarmee het gedrag van de bestuurder gedetailleerd kon worden vastgelegd. Elke meetavond begon na de avondspits. De experimentele route omvatte zowel het DYNO proefvak als een controle-wegvak met conventionele openbare verlichting.

Verder is door TNO-TM in een *belevingsonderzoek* uitgevoerd. Hierin werd nagegaan welke houding weggebruikers hebben ten aanzien van het rijden bij duisternis, van conventionele openbare verlichting en van dynamische openbare verlichting. Ook werd nagegaan hoe de weggebruikers de verlichting op het proefvak ervaren hadden.

Om alvast een indruk te krijgen van de mate waarin zich op het proefvak ongevallen voordoen heeft de SWOV de nulperiode in kaart gebracht in termen van *ongevalscijfers*.

### 2.2.2 Kosten-batenanalyse

In opdracht van RWS-AVV heeft INTERSEC een kosten-batenanalyse uitgevoerd (Bruinsma, 1998) waarin de volgende varianten zijn doorgerekend:

- conventionele verlichting;
- dynamische verlichting waarbij alleen het verlaagde en het normale niveau geschakeld kunnen worden (DYNO 20-100%);
- dynamische verlichting zoals toegepast in de praktijkproef (DYNO 20-100-200%).

In de analyse zijn uitsluitend de volgende aspecten meegenomen:

- aanlegkosten;
- energiekosten;
- bijbehorende milieukosten (namelijk vrijgekomen CO<sub>2</sub> in de energiecentrale).

Om een zuivere vergelijking te kunnen maken tussen de drie varianten is de analyse uitgevoerd met de situatie van het proefvak als uitgangspunt. Bij voorbaat kan gesteld worden dat de kosten op andere locaties lager uit zullen pakken. Om slechts een enkel voorbeeld te noemen: door de brede middenberm op het proefvak is er sprake van tweemaal een enkelzijdige mastopstelling, terwijl in veel andere situaties met een dubbelzijdige opstelling gewerkt kan worden.

Naast deze kosten-batenanalyse van INTERSEC is door de TU-Delft een verkeerskundige kosten-batenanalyse uitgevoerd (Winkel, 1998). Winkel onderscheidde in zijn afstudeerrapport verscheidene alternatieven (geen verlichting; conventionele verlichting; DYNO met één vast niveau van 20%, 100% of 200%; DYNO 20-100%; DYNO 20-100-200%; DYNO 100-200%). Vervolgens zijn twee voorbeelden van grootschalige toepassing van deze alternatieven uitgewerkt. In de berekeningen werd rekening gehouden met aanlegkosten, energiekosten, milieubelasting, exploitatiekosten, en verkeersveiligheid. Voor meer informatie over deze analyses en de uitkomsten ervan wordt de lezer verwezen naar het rapport (Winkel, 1998).

In de kosten-batenanalyse van INTERSEC zijn berekeningen gebaseerd op het wegvak van 14 km waar DYNO op dit moment gerealiseerd is. Voor het ontwerp van het conventionele en het DYNO 20-100-systeem is uitgegaan van



---

een optimaal ontwerp: masten met een 18 meter lichtpunthoogte (in plaats van 15 meter bij DYNO 20-100-200%), een grotere tussenafstand tussen de masten, en SON-T plus 250W lampen. Alle prijzen zijn exclusief BTW.

Allereerst zijn de *aanlegkosten* voor het huidige DYNO-systeem bepaald en is berekend wat de aanlegkosten zouden zijn van een conventionele verlichtingsinstallatie en van een DYNO 20-100-systeem.

Vervolgens is uit de logfiles van het DYNO-besturingssysteem bepaald hoeveel tijd de openbare verlichting gebrand heeft en in welke stand (20%, 100% of 200%) over de periode maart 1997 tot en met februari 1998. Hieruit zijn de theoretisch afgenomen *vermogens* voor een conventionele verlichtingsinstallatie en van een DYNO-20-100-systeem berekend. Op basis van het theoretisch aangesloten vermogen is voor elke variant de *gebruikte energie* bepaald.

Aan de hand van het energieverbruik zijn ook de *milieukosten* van de vrijgekomen CO<sub>2</sub> in de energiecentrale berekend. Dit gebeurde met de methode die Winkel (1998) hanteerde, die samengevat neerkomt op 6,93 cent kosten per kWh energieverbruik.

Ten slotte is op basis van de gebruikte energie berekend wat de *energiekosten* zijn voor de drie afzonderlijke varianten. De energiekosten zijn opgebouwd uit 2 componenten.

- De uren hoog/laag tarief voor de verbruikte energie. Er is rekening gehouden met een dagtarief (07:00 - 23:00 uur) en een nachttarief (23:00 - 07:00 uur). Deze tarieven verschillen enigszins van maand tot maand; de gemiddelden waren 11,9 respectievelijk 8,3 cent per kWh. De tarieven zijn niet gelijk voor alle energiebedrijven; uiteraard heeft een ander tarief gevolgen voor de resultaten van de kosten-batenanalyse.
- De KW maandbelasting. Dit is een verrekening op basis van het maximale vermogen dat momentaan ingeschakeld is geweest gedurende een maand.

In dit onderzoek zijn de kosten voor *beheer en onderhoud* niet meegenomen. Dit is gedaan omdat op korte termijn onvoldoende gegevens beschikbaar zijn voor de reeds gemaakte kosten en omdat de periode waarover het onderzoek zich uitstrekt (1 jaar) onvoldoende significant is voor het totale onderhoud over de levensduur van het systeem (de verwachte levensduur van bijvoorbeeld de lampen is circa twee jaar).

## 3 Verkeerskundig onderzoek

### 3.1 Verkeersgedrag

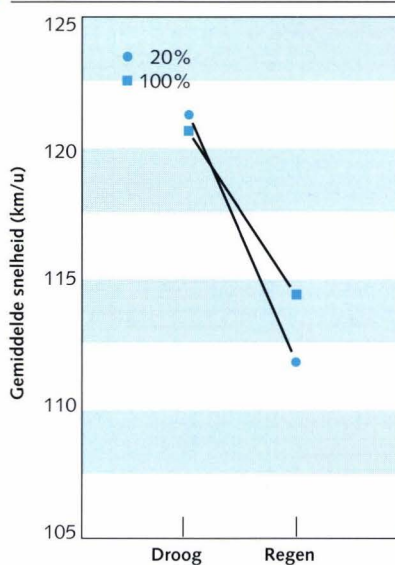
#### 3.1.1 Meetlusgegevens

Het meest eenduidige effect van openbare verlichting op het rijgedrag is een lichte toename van de gemiddelde snelheid (1 à 2 km/u). Daarnaast lijkt ook de standaarddeviatie van de snelheid enigszins toe te nemen.

Ten aanzien van volgedrag laten de resultaten zien dat er bij de DYNO-schakelstanden 100% en 200% een lichte toename is van het percentage volgtijden < 1 s. Uit analyses van de percentages TTC's (respectievelijk < 5 s, 10 s, 15 s) bleek een lichte stijging van deze variabelen bij het aanbrenge van openbare verlichting (ongeacht de schakelstand).

Regen heeft op een onverlichte weg een duidelijke verlaging van de rijnsnelheid tot gevolg (met ca. 5 à 10 km/u). Een verlichtingsniveau van 100% geeft bij regen een snelheidstoename van ca. 3 km/u te zien ten opzichte van de snelheid bij een onverlichte weg bij regen. Bij droog weer ligt de snelheid bij 20% verlichting dicht bij die bij 100% verlichting, maar bij regen ligt de snelheid bij 20% verlichting dicht bij die op een onverlichte weg (zie Figuur 6).

**Figuur 6**  
Gemiddelde snelheid als functie van schakelniveau en neerslag



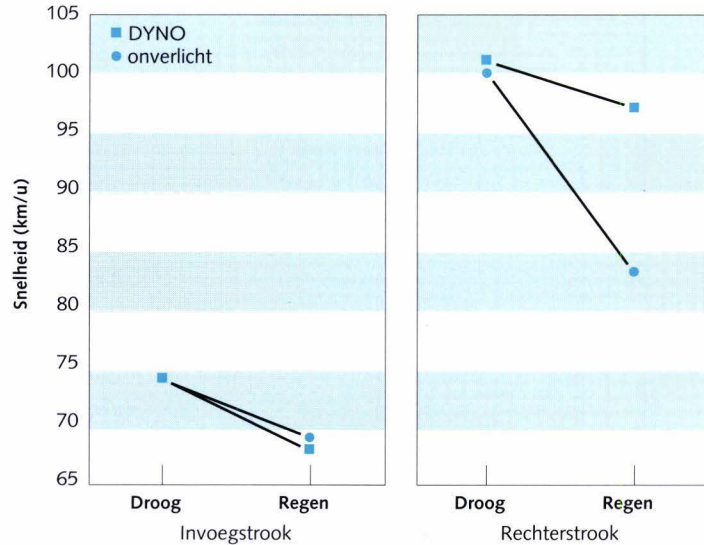
Verschillen tussen de verlichtingsstanden 100% en 200% werden in het rijgedrag niet gevonden.

#### 3.1.2 Video-observatie

De resultaten van de video-analyse lieten zien dat, conform de verwachting, er grote snelheidsverschillen bestaan tussen invoevend verkeer en verkeer op de hoofdrijbaan. Echter, openbare verlichting draagt er niet toe bij dit verschil te verkleinen.

Dit wordt geïllustreerd in Figuur 7. Op de invoegstrook was er geen verschil tussen de onverlichte conditie en de conditie met dynamische verlichting, ongeacht of het regende. Op de rechter rijstrook gold dit wel bij droog weer, maar bij regen werd zonder openbare verlichting langzamer gereden dan met dynamische openbare verlichting.

**Figuur 7**  
Gemiddelde snelheid als functie van verlichting, neerslag en dwarspositie



### 3.1.3 Geïstrumenteerd voertuig

Er zijn statistische analyses uitgevoerd op de gemiddelde rijnsnelheid, de gemiddelde volgtijd en de stuurinspanning (percentage hoogfrequent stuurgedrag: High Frequency Area (HFA)).

De analyses lieten zien dat juist bij regen en zonder verlichting er langzamer wordt gereden, en minder kort wordt gevolgd dan met conventionele openbare verlichting.

Uit de analyse op de HFA bleek dat het verschil tussen beide wegvakken bij nat en droog weer in de verschillende meetperioden ongeveer gelijk is. De enige duidelijke uitzondering wordt opnieuw gevonden bij regen in de nulperiode: bij duisternis zonder openbare verlichting en bij regen geldt een relatief hoge werkbelasting.

## 3.2 Ongevallen

De SWOV heeft een ongevalsanalyse uitgevoerd over de nulperiode. De aantallen ongevallen uit de voorperiode op het proefvak kunnen te zijner tijd worden vergeleken met die uit een periode in de nasituatie met dynamische openbare verlichting. Dezelfde vergelijking zal ter controle moeten worden gemaakt voor een ander gedeelte van dezelfde autosnelweg, waar gedurende zowel de voorperiode als de naperiode normale openbare verlichting aanwezig was.

De voor de ongevalsanalyse gehanteerde nulperiode beslaat de jaren 1990 t/m 1995. Voor een gedetailleerd overzicht van de ongevalsgegevens wordt verwezen naar Poppe en Noordzij (1997). Tabel 2 geeft een samenvatting van de bevindingen.

**Tabel 2**

Samenvatting van ongevalsgegevens op proefvak (11 km) en controlevak (7 km) uitgesplitst naar lichtconditie en ongevalstype

Ongevallen 1990 t/m 1995						
Ernst ongeval	Wegdeel	Aantal				Totaal aantal/km
		Dag	Schemer	Duister	Totaal	
Met letsel	Proefvak	50	6	38	94	8,5
	Controlevak	43	3	23	69	10
Zonder letsel	Proefvak	454	35	161	650	59
	Controlevak	232	12	96	340	48

De verschillen in aantallen ongevallen tussen verschillende delen van Rijksweg 12 zijn beperkt, al was het ongevalspatroom wel enigszins verschillend tussen proefvak en controlevak. Op het proefvak was het aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade relatief hoog, terwijl relatief minder letselongevallen plaatsvonden. Dit verschil was voornamelijk overdag aanwezig.

Geconcludeerd kan worden dat in de nulsituatie het aantal ongevallen niet erg hoog is. Het valt dan ook niet bij voorbaat te verwachten dat als gevolg van verlichtingscondities op dit punt (met een beperkte praktijkproef als deze) een relevante verbetering kan worden gevonden. Toch is het nodig ongevalsgegevens over de voorperiode op termijn te vergelijken met ongevalsgegevens over de naperiode, zodat nog eens kan worden nagegaan in hoeverre onder omstandigheden bijvoorbeeld een verlaagd lichtniveau dan wel een verhoogde rijsnelheid al dan niet hebben geleid tot een verminderde verkeersveiligheid.

### 3.3 Verkeersafwikkeling

In termen van verkeersafwikkeling zijn de gevonden gedragseffecten (paragraaf 3.1) gunstig te noemen. Een lichte toename van de gemiddelde snelheid bij dezelfde verkeersintensiteit, zonder dat dit gepaard gaat met een wezenlijke toename van korte volgtijden of TTC's, suggereert dat openbare verlichting de capaciteit gunstig beïnvloedt. In een studie van TNO Inro over het effect van (conventionele) openbare verlichting op de capaciteit van wegvakken in autosnelwegen (uitgevoerd op de A50), werd geen effect van openbare verlichting op de capaciteit gevonden (Van der Vlist & Droppert-Zilver, 1996). Latere resultaten van Van Goeverden en Botma (1998) duiden echter wel op een effect van verlichting op de capaciteit. Zij voerden een tweetal onderzoeken uit, nl. op de A50 en op de A12. Bij de laatstgenoemde studie maakten zij gebruik van data uit het DYNO-onderzoek (alleen perioden met gunstige weersomstandigheden en schakelstand 100%). Er werd voorzichtig gesteld dat wegverlichting de capaciteit licht positief lijkt te beïnvloeden (effectgrootte: hooguit enkele procenten).

Mogelijke oorzaken voor de discrepantie tussen deze beide studies zijn andere methodieken voor de capaciteitsschatting en het feit dat in de TNO-studie een kleinere data-set gebruikt is. Overigens moet de kwaliteit van de verkeersafwikkeling niet alleen in termen van capaciteit beschouwd worden: een constantere, stabielere verkeersstroom bij lagere intensiteiten kan evenzeer een meerwaarde hebben.

Geconcludeerd kan worden dat DYNO-verlichting geen ander effect op de capaciteit zal hebben dan conventionele openbare verlichting. Immers, wanneer de intensiteit hoog is schrijft het schakelregime 100% voor (dus hetzelfde verlichtingsniveau als conventionele openbare verlichting).

---

### 3.4 Beleving

Er zijn in de verschillende meetperioden interviews afgenomen onder telkens enkele honderden weggebruikers op de A12, die het proefvak net gereden hadden. Alle interviews zijn 's avonds na de avondspits afgenomen bij droog weer (waarbij het schakelregime dus 20% voorschreef).

Over het rijden bij duisternis in het algemeen werd zeer wisselend gedacht. Een duidelijke meerderheid (80%) was overtuigd van het nut van openbare verlichting op autosnelwegen. Een nog grotere groep (89%) vond het DYNO-concept uitermate zinvol. De overgrote meerderheid kan zich vinden in het idee het niveau van openbare verlichting af te laten hangen van de omstandigheden.

Alleen in de nulperiode werd soms geklaagd over de (afwezigheid van) verlichting op het zojuist gepasseerde vak (23%). Tijdens de naperiode (met 20% verlichting) werd in geen enkel geval aangegeven dat de verlichting onvoldoende zou zijn.

Opvallend is dat automobilisten niet onder alle omstandigheden kunnen vertellen in hoeverre een autosnelweggedeelte dat zojuist is gepasseerd was voorzien van openbare verlichting. Met name de afwijkende verlichting bij het 20%-niveau werd niet altijd als zodanig waargenomen. In geen geval was volgens weggebruikers in de nasituatie sprake van een onplezierig of onveilig niveau van openbare verlichting.

## 4 Kosten-batenanalyse

De aanlegkosten van de drie verlichtingsvarianten worden gegeven in tabel 3. Ten opzichte van conventionele verlichting is DYNO 20-100% 37 % duurder, en DYNO 20-100-200% 63 % duurder.

Tabel 3

Aanlegkosten (fl per km, exclusief BTW)

Conventioneel	DYNO 20-100%	DYNO 20-100-200%
174.000	238.000	285.000

Uit de brandtijd-overzichten blijkt dat in de periode maart 1997 tot en met februari 1998 gedurende 50% van de tijd de verlichting ingeschakeld was. Hierbinnen was er 59% van de tijd het lage niveau, 37% van de tijd het normale niveau en 4% van de tijd het hoge niveau geschakeld. Ter vergelijking: voor een normale installatie wordt een aantal van ca. 4000 branduren per jaar als vuistregel gehanteerd (ca 45%).

Het hieruit resulterende totale energieverbruik per jaar wordt voor elk van de drie varianten gegeven in tabel 4. Uit deze cijfers blijkt dat ten opzichte van een conventionele installatie het energieverbruik bij DYNO 20-100% 35% lager is en bij DYNO 20-100-200% 6% lager.

Tabel 4

Energieverbruik (Mwh) voor de drie varianten (per jaar, hele proeftraject)

Conventioneel	DYNO 20-100%	DYNO 20-100-200%
482	312	453

In tabel 5 worden de energiekosten en de milieukosten (vrijgekomen CO<sub>2</sub>) gegeven. Ten opzichte van conventionele verlichting zijn de energiekosten van DYNO 20-100% 29% goedkoper en die van DYNO 20-100-200% 17% duurder. De milieukosten zijn bij DYNO 20-100% 35% lager en bij DYNO 20-100-200% 6% lager dan bij conventionele verlichting. Het totaal van energie- en milieukosten is bij DYNO 20-100% 31% lager en bij DYNO 20-100-200% 8% hoger dan conventionele verlichting.

Tabel 5

Energie- en milieukosten (fl per jaar per km, exclusief BTW)

	Conventioneel	DYNO 20-100%	DYNO 20-100-200%
Energiekosten: uurtarief	2747	1797	2624
Energiekosten: kW maandbelasting	510	510	1187
Energiekosten: totaal	3257	2308	3811
Milieukosten <sup>1)</sup>	2076	1342	1951
Totaal energie- en milieukosten	5333	3649	5761

### Noot

<sup>1)</sup> Milieukosten zijn berekend met behulp van getallen voor de CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij het opwekken van de energie. Deze getallen zijn berekend op basis van een gemiddelde waarde die door de NOVEM is vastgesteld (zie paragraaf 2.2.2). De hoeveelheid uitstoot per kWh verschilt per centrale. Eveneens geldt dit voor de kosten die hiervoor in rekening worden gebracht.

---

Het blijkt dat voor een DYNO 20-100-200-systeem wel enige winst te halen is in het *energieverbruik* maar niet in de *energiekosten*. Dit wordt veroorzaakt door de kosten voor de KW maandbelasting, die per maand zijn gebaseerd op het maximaal ingeschakeld (momentaan) vermogen. In de 200% stand is het vermogensverbruik van het DYNO 20-100-200-systeem 2,5 maal zo hoog als bij 100% (Bruinsma, 1998). Daardoor wordt in elke maand waarin DYNO op 200% heeft gedraaid (ongeacht hoe lang of kort dat duurde) de KW maandbelasting dermate hoog, dat de mindere kosten voor een lager gemiddeld energieverbruik dit niet meer kunnen compenseren.

Aangezien ook de aanleg van een DYNO 20-100-200-systeem duurder is dan de aanleg van een conventioneel verlichtingssysteem, kan het DYNO 20-100-200-systeem zich niet terugverdienen op basis van energie- en milieukosten.

Een DYNO 20-100-systeem heeft hogere aanlegkosten dan een conventionele installatie, maar lagere energie- en milieukosten. Uit de gegevens van tabel 3 en tabel 5 volgt voor dit DYNO 20-100-systeem op basis van de inrichting van de huidige pilot een terugverdientijd van 38 jaar  $((238.000-174.000)/(5333-3649))$ .

Er is onvoldoende inzicht in de opbouw van de kosten voor de realisatie van het nu gerealiseerde DYNO-besturingssysteem (totaal f 1.060.000,-) om aan te geven wat de eenmalige kosten zijn (ontwerp-kosten, software ontwikkeling etc.) en wat de variabele kosten zijn (hardware voor sturingsunits, systeemdelen centrale besturing, detailontwerp kasten en stuursystemen). Voor toekomstige DYNO-projecten zullen de kosten (en daarmee de terugverdientijd) gunstiger uitvallen dan in dit proefproject, maar hoeveel kan niet goed worden aangegeven.

---

## 5 Synthese resultaten en discussie

---

Op 7 september 1998 is door TNO-TM een workshop georganiseerd met als onderwerp het definitieve DYNO schakelregime (Hogema & Van der Horst, 1998a). Op de workshop is een overzicht gegeven van de opzet en de resultaten van de evaluatiestudie, en zijn de hieruit volgende vragen besproken. De resultaten van de praktijkproef, van de workshop en van de kosten-batenanalyse vormen de basis voor deze synthese.

### 5.1 Wel of geen schakelbare verlichting

De resultaten van de evaluatiestudie hebben laten zien dat onder gunstige omstandigheden (lage verkeersdrukte, droog weer) zonder problemen een lager niveau van openbare verlichting kan worden gehanteerd, terwijl onder andere omstandigheden (neerslag) een normaal niveau van openbare verlichting gewenst blijft. Dit laat zien dat het dynamisch schakelen van openbare verlichting in principe een zinvol concept is.

Van het *verhoogde niveau* van openbare verlichting is in de evaluatiestudie van de praktijkproef geen meerwaarde gevonden. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat niet alle situaties waarin het voorlopige schakelregime 200% voorschreef geëvalueerd konden worden (in het bijzonder: mist en gladheid). Voor deze situaties geldt echter dat ze slechts weinig voorkomen en dat de meerwaarde van verhoogde verlichting in deze condities beperkt wordt ingeschat.

Vervolgens werd in de kosten-batenanalyse gevonden dat de aanlegkosten van het DYNO-systeem uit het onderhavige proefproject (20-100-200%) circa 63% hoger liggen dan van een conventionele installatie. Het energieverbruik (en daarmee de milieukosten voor CO<sub>2</sub>-uitstoot) lag wat lager dan bij een conventionele installatie, maar door het systeem van KW maandbelasting werd het totaal van energie- en milieukosten hoger dan bij een conventionele installatie. Daardoor kan dit systeem zich niet terugverdienen op basis van energie- en milieukosten.

Vanuit deze situatie ligt het voor de hand de aandacht te richten op een eenvoudiger DYNO-systeem, namelijk zonder het 200%-niveau. Een DYNO 20-100-systeem leidt tot hogere aanlegkosten, maar lagere energie- en milieukosten dan een conventioneel systeem. Binnen de randvoorwaarden van het proeftraject werd een terugverdientijd van 38 jaar berekend. Dit lijkt erg lang, maar er zijn diverse redenen waarom bij grootschalige toepassing van een DYNO 20-100-systeem de terugverdientijd gunstiger uit kan pakken.

- In de huidige kosten zijn deels eenmalige kosten betrokken die wel voor dit proefproject nodig waren maar bij grootschaliger toepassing in de praktijk niet.
- Bij grootschaliger toepassing wordt de bijdrage van vaste kosten (zoals de centrale DYNO-apparatuur) per km kleiner.



- Op veel andere wegvakken zal een enkel dubbelzijdig verlichtingssysteem geplaatst kunnen worden (in tegenstelling tot de op het proeftraject benodigde dubbele enkelzijdige systeem). De meerkosten van een DYNO-systeem ten opzichte van een conventioneel systeem kunnen daardoor elders lager uitpakken.
- Door aanpassing van de drempelwaarden uit het schakelregime (zie paragraaf 5.2) kan een grotere energiebesparing bewerkstelligd worden.

Ook andere factoren kunnen de kosten op andere locaties doen verschillen van die op het proefvak, bijvoorbeeld andere tarieven van de energiemaatschappij of toekomstige tariefwijzigingen. Ook geldt ten aanzien van de milieukosten voor uitstoot van CO<sub>2</sub> door de energiecentrale, dat de hoeveelheid uitstoot per kWh per centrale verschilt, evenals de kosten die hiervoor via de tarieven in rekening worden gebracht.

Bij het maken van de afweging tussen een dynamische of een conventionele installatie moet derhalve met de ter plaatse geldende situatie rekening worden gehouden.

## 5.2 Schakelregime

Tabel 6 geeft het voorstel voor een definitief schakelregime, zoals opgesteld in de workshop.

Tabel 6  
Voorstel voor het definitieve  
schakelregime

Weersomstandigheden	Daglicht	Duisternis		
		Niet druk	Druk, file	WIU, calamiteiten
Goed	Geen	Laag	Normaal	Normaal
Neerslag	Geen	Normaal	Normaal	Normaal
Gladheid	Geen	Normaal	Normaal	Normaal
Mist	Geen	Normaal	Normaal	Normaal

Samengevat komt het erop neer dat bij duisternis te allen tijde het normale niveau geschakeld wordt, behalve bij gunstige weersomstandigheden en een lage verkeersintensiteit: dan wordt het verlaagde niveau geschakeld.

Bij het classificeren van de verkeersintensiteit werd in het proefproject hysteresis gebruikt, met als inschakelgrens 1000 en als uitschakelgrens 600 voertuigen/rijstrook/uur. Hiermee werd al te frequent schakelen tegengegaan en bovendien was de hysteresis vanuit evaluatie-oogpunt wenselijk. Op de workshop werd de indruk vastgesteld dat bij verdere toepassing van DYNO de beide schakelgrenzen bij wat hogere intensiteitswaarden en dichter bij elkaar kunnen komen te liggen. Voorgesteld wordt om als inschakelgrens 1100 en als uitschakelgrens 800 voertuigen per uur per rijstrook te hanteren. Een dergelijke aanpassing van de schakelgrenzen heeft als voordeel dat er verhoudingsgewijs vaker 20% en minder vaak 100% geschakeld zal worden, wat gunstig is voor de kosten-batenverhouding.

Bij de DYNO-installatie is, mede door het gebruikte type armatuur, sprake van een geleidend effect (d.w.z. dat bestuurders in staat worden gesteld om over grotere afstanden op het toekomstige wegverloop te kunnen anticiperen). De DYNO-schakelstand 20% biedt kwalitatief meer dan uitsluitend geleidingsverlichting: deze schakelstand lijkt ook enigszins geleiding ter plekke en geleiding in preview te ondersteunen (Hogema & Van der Horst, 1998b).

---

Uitgaande van een DYNO 20-100-systeem kan ten aanzien van de doelstellingen van het DYNO-concept (zie paragraaf 1.3) het volgende worden gezegd:

- het *energieverbruik* kent bij toepassing van DYNO een forse daling (in het proefproject: 35%);
- ook de *milieubelasting* door CO<sub>2</sub>-uitstoot van de energiecentrale kent een daling van 35%;
- de *energiekosten* dalen minder sterk dan het energieverbruik door de gehanteerde KW maandbelasting;
- ten aanzien van *veiligheid* en *benutting* zal er bij DYNO 20-100% geen verschil zijn ten opzichte van conventionele verlichting. Immers, het verlaagde niveau wordt alleen geschakeld bij lage verkeersintensiteit onder gunstige weersomstandigheden, met andere woorden wanneer afwijking en verkeersveiligheid niet in het geding zijn. Een gunstig effect van conventionele verlichting op veiligheid en afwijking zal dus ook bij DYNO 20-100% optreden;
- ten aanzien van *beheer en onderhoud* heeft het proefproject onvoldoende bruikbare gegevens opgeleverd om conclusies uit te kunnen trekken.

---

## 6 Conclusies en aanbevelingen

---

### 6.1 Algemeen

Geconcludeerd wordt dat het dynamisch schakelen van openbare verlichting langs autosnelwegen een zinvol concept is. Een DYNO-systeem dat niet alleen een laag ( $0,2 \text{ cd/m}^2$ ) en een normaal ( $1,0 \text{ cd/m}^2$ ) niveau kan schakelen, maar ook een hoog ( $2,0 \text{ cd/m}^2$ ) niveau, blijkt echter onevenredig duur te zijn in aanleg en gebruik, terwijl de meerwaarde van dit hoge niveau zeer beperkt wordt ingeschat.

Een DYNO-systeem dat een laag ( $0,2 \text{ cd/m}^2$ ) en een normaal ( $1,0 \text{ cd/m}^2$ ) niveau kan schakelen biedt wel mogelijkheden om de hogere systeemkosten te laten compenseren door de lagere energie- en milieukosten.

Aanbevolen wordt om bij toekomstige aanleg of vervanging van openbare verlichting langs autosnelwegen te overwegen een DYNO 20-100-systeem toe te passen in plaats van conventionele verlichting. Het lage niveau dient hierbij  $0,2 \text{ cd/m}^2$  te bedragen en het normale niveau  $0,7$  à  $1,0 \text{ cd/m}^2$  (overeenkomstig het niveau dat voor het wegvak in kwestie voor conventionele verlichting gekozen zou worden).

Het materiaal uit de kosten-batenanalyses die in deze covernota besproken werden biedt aanknopingspunten om voor een concrete situatie elders de systeemkosten af te kunnen wegen tegen de verminderde energie- en milieukosten.

### 6.2 Concrete gevolgen voor het verlichtingssysteem

Om openbare verlichting dynamisch te kunnen schakelen is ten opzichte van een conventionele installatie een aantal nieuwe elementen nodig. Waar een conventionele installatie relatief grofstoffelijk van aard is, hebben de aanvullende elementen voor een DYNO-systeem meer een IT-karakter.

Ten eerste gaat het hierbij om data-inwinning: het schakelregime maakt gebruik van verkeersgegevens (intensiteiten en snelheden) en van weersgegevens (neerslag, gladheid en mist). Er zijn verschillende opties denkbaar voor de methode van data-inwinning, variërend van speciaal hiertoe te installeren sensor-systemen tot het beschikbaar maken van reeds bestaande data. Voor verkeersgegevens kan bijvoorbeeld verwezen worden naar het Monica-systeem (AVV, 1998), dat middels detectielussen verkeersgegevens verzamelt en deze na verwerking verstrekt voor zowel statisch als dynamisch gebruik. Voor weersgegevens kunnen bijvoorbeeld gegevens worden betrokken uit het gladheidsmeldsysteem (GMS). Ook zijn er mogelijkheden om actuele weersgegevens (of korte-termijnvoorspellingen) in te kopen bij meteorologische organisaties of bedrijven.

Ten tweede moet de verlichting zelf schakelbaar worden gemaakt: naast het standaard-niveau moet ook een verlaagd niveau van  $0,2 \text{ cd/m}^2$  gerealiseerd kunnen worden.

Ten slotte moet de verlichtingsinstallatie worden aangestuurd op basis van de invoer-gegevens conform het schakelregime. Dit kan bijvoorbeeld vanuit een

---

centrale waarvandaan het eveneens mogelijk is om het systeem handmatig te bedienen. Vanuit deze centrale vindt dan communicatie plaats met de wegkant-systemen. Bewaking en handmatige bediening van een DYNO-systeem moet op gebruikersvriendelijke wijze mogelijk zijn. Procedures voor de handmatige bediening van het systeem moeten zodanig zijn dat het niet onnodig op een hoog niveau ingeschakeld blijft.

AVV (1998). *Monica - Dynamische en statische verkeersgegevens onder handbereik* (brochure). Rotterdam: Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Bruinsma, J. (1998). *Kosten-baten-analyse DYNO. Investeringskosten versus energie- en milieukosten* (Documentnr. P1311V&V\_JB\_9801). Zoetermeer: INTERSEC.

CIE (1973). *International recommendations for motorway lighting*. CIE Publication No. 23.

Folles, E. (1993). A new generation of road lighting. *Proceedings of Right Light*, 2nd European Conference on Energy-Efficient Lighting (pp.329-341). Arnhem: 26-29 September 1993.

Folles, E., & Poort, W. (1997). Processturing bij dynamische openbare verlichting. *Syllabus congresdag 'Het licht in de toekomst'!* (pp. 47-51). Arnhem: Bureau Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV).

Goeverden, C.D. van, & Botma, H. (1998). *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen. Deelrapport 4: Verlichting*. Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Sectie Verkeerskunde. Delft: Technische Universiteit Delft.

Hogema, J.H., & Horst, A.R.A. van der (1998a). *Verslag workshop DYNO* (Memo TNO-TM 1998-M44). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Hogema, J.H., & Horst, A.R.A. van der (1998b). *Dynamische Openbare Verlichting (DYNO). Fase 4: Synthese* (Rapport TM-98-C065). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

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

Kaptein, N.A., & Hogema, J.H. (1998). *Dynamische openbare verlichting: voorlopige resultaten*. (Rapport TM-98-C001). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

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

Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (1974). *Richtlijnen en Aanbevelingen voor Openbare Verlichting*. Meppel: N.V. Noord-Nederlandse drukkerij.

Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (1977). *Richtlijnen en Aanbevelingen voor Openbare Verlichting*. Meppel: N.V. Noord-Nederlandse drukkerij.

---

Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (1990). *Aanbevelingen voor openbare verlichting, Deel I: Kwaliteitscriteria en aanbevolen waarden* (1 februari 1990). Arnhem: Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV).

Poppe, F. & Noordzij, P. (1997). *DYNO-onderzoek: Notitie over ongevallen in de voorperiode*. Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

Rijkswaterstaat - Philips Nederland (1986). *Studiereis Openbare Verlichting*. 's-Gravenhage/Eindhoven, maart 1986.

Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland (1981). *Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting* (Brochure EBO 0076-81.08). Apeldoorn: SVEN.

Tan, T.H. (1974). Wegverlichting in de praktijk, *Wegontwerp en Verlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid*. Congresdag 1974 van de Vereniging het Nederlandsche Wegcongres (pp. 139-176). 's-Gravenhage.

RWS-AVV (1995). *Verkeersgegevens Jaarrapport*. Rotterdam: Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

Vlist, M.J.M. van der, & Droppert-Zilver, M.N. (1996). *De verkeersafwikkeling op de A50 zonder en met openbare verlichting* (Rapport INRO-VVG 1996-28). Delft: TNO Inro.

Winkel, E. (1998). *Kosten-batenanalyse dynamische wegverlichting. Analyse verkeerskundige en overige effecten en toepassing op het hoofdwegennet*. Afstudeerverslag dd. 28-11-1998. Adviesdienst Verkeer en Vervoer / Technische Universiteit Delft.