

**OPENBARE VERLICHTING ALS VERKEERSVEILIGHEIDSMATREGEEL;  
STAND VAN ZAKEN EN TOEKOMST**

R-92-64

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1992

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## INHOUD

### *Voorwoord*

### *Samenvatting en conclusies*

1. Algemene verkeersaspecten
  2. De technische aspecten van de verlichting
  3. De doeltreffendheid van openbare verlichting
  4. De doelmatigheid van openbare verlichting
  5. De toekomstverwachting
  6. Toekomstig onderzoek
- 
1. *Inleiding*
  2. *Veranderend verkeer; veranderende verkeersveiligheid*
    - 2.1. Prognoses
    - 2.2. Conclusies uit Hoofdstuk 2
    - 2.3. Onbeantwoorde vragen
  3. *Openbare verlichting ten dienste van het wegverkeer*
    - 3.1. Verkeer bij duisternis
    - 3.2. Zien en gezien worden
    - 3.3. De theorie van de waarneming
      - 3.3.1. Waarnemingsaspecten
        - 3.3.1.1. Waarneembaarheid
        - 3.3.1.2. Verwachtingspatroon
        - 3.3.1.3. De rijtaak
        - 3.3.1.4. Beslissingsprocessen
        - 3.3.1.5. Waarnemen en beslissen; informatieverwerking
        - 3.3.1.6. De zichtruimte
        - 3.3.1.7. Het informatieproces
        - 3.3.1.8. Verkeersrelevante objecten
      - 3.4. De techniek van de openbare verlichting
        - 3.4.1. De rol van kunstmatige verlichting
          - 3.4.1.1. Openbare verlichting en voertuigverlichting
            - 3.4.1.2. Verkeersaspecten
          - 3.4.2. Adaptatietoestand
            - 3.4.2.1. De gemiddelde wegdeklluminantie
            - 3.4.2.2. De revealing power
            - 3.4.2.3. Symmetrische, tegenstralende en meestralende verlichting
            - 3.4.2.4. Wegmarkeringen
          - 3.4.3. De verlichtingssterkte
          - 3.4.4. De verblinding
          - 3.4.5. De gelijkmatigheid
          - 3.4.6. De traditionele kwaliteitscriteria voor openbare verlichting
          - 3.4.7. Vraag en aanbod
          - 3.4.8. Reflectie van wegdekken
            - 3.4.8.1. Reflectie en luminantie

- 3.4.8.2. Reflectie en retroreflectie
  - 3.4.8.3. Beschrijving van de reflectie van wegdekken
  - 3.4.8.4. Classificatie van de reflectiekenmerken van wegdekken
  - 3.4.8.5. Identificeren en classificeren
  - 3.4.8.6. Reflectie-eigenschappen van wegmarkeringen
  - 3.5. Meten en berekenen van lichttechnische karakteristieken
    - 3.5.1. Het doel van metingen en berekeningen
    - 3.5.2. De meting van de verlichtingssterkte
    - 3.5.3. De meting van de luminantie
      - 3.5.3.1. Inleiding
      - 3.5.3.2. Luminantiemetingen in de openbare verlichting
    - 3.5.4. Het meten van de reflectie-eigenschappen van wegdekken
    - 3.5.5. Het berekenen van de verlichtingssterkte
    - 3.5.6. Het berekenen van de luminantie
  - 3.6. De kwantificering van openbare verlichting
    - 3.6.1. De kwaliteitscriteria
    - 3.6.2. De samenhang tussen de kwaliteitscriteria
  - 3.7. Nieuwe ontwikkelingen
    - 3.7.1. Verkeersverlichting
    - 3.7.2. Openbare verlichting
      - 3.7.2.1. De techniek
      - 3.7.2.2. Het beheer
      - 3.7.2.3. Aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid
    - 3.7.3. Voertuigverlichting
    - 3.7.4. Wegmarkeringen
  - 3.8. Conclusies uit Hoofdstuk 3
    - 3.8.1. Conclusies uit het overzicht van de stand van zaken
    - 3.8.2. Conclusies aangaande de nieuwe ontwikkelingen
  - 3.9. Onbeantwoorde vragen
4. *Doeltreffendheid van de openbare verlichting*
- 4.1. De functies van openbare verlichting
  - 4.2. Het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting
  - 4.3. De relatie tussen het lichtniveau en de verkeersveiligheid
    - 4.3.1. Het lichtniveau als maatgevende grootte
    - 4.3.2. De opzet en aanpak van onderzoek
      - 4.3.3. Het relatie-onderzoek tussen lichtniveau en ongevallen
        - 4.3.3.1. Internationaal onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom
        - 4.3.3.2. Nederlands onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom
        - 4.3.3.3. Internationaal onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom
        - 4.3.3.4. Nederlands onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom
    - 4.4. De verkeersafwikkeling
      - 4.4.1. De verkeersafwikkeling voor gemotoriseerd verkeer
        - 4.4.1.1. De verkeersintensiteit
        - 4.4.1.2. Het rijcomfort
      - 4.4.2. De verkeersafwikkeling voor langzaam verkeer
  - 4.5. De burgerlijke veiligheid
  - 4.6. Subjectieve ervaringen

- 4.7. Conclusies uit Hoofdstuk 4
- 4.8. Onbeantwoorde vragen
  
- 5. *De doelmatigheid van openbare verlichting*
  - 5.1. Doeltreffendheid en doelmatigheid
  - 5.2. Doelmatigheidsanalyse
  - 5.3. Kosten en baten van openbare verlichting
    - 5.3.1. De kosten
    - 5.3.2. De baten
    - 5.3.3. Kosten/baten-analyses van verlichting
      - 5.3.3.1. De algemene doelmatigheid
      - 5.3.3.2. De invloed van het lichtniveau op de baten
      - 5.3.3.3. Kosten en baten van afzonderlijke verlichtingsinstallaties
      - 5.3.3.4. Het bepalen van het doelmatige lichtniveau
      - 5.3.3.5. Het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken.
  - 5.4. Conclusies uit Hoofdstuk 5
  - 5.5. Onbeantwoorde vragen
  
- 6. *Toekomstverwachting*
  - 6.1. Inleiding
  - 6.2. De toekomst van de straatverlichting
    - 6.2.1. Premissen
    - 6.2.2. De toekomstige verlichting
  - 6.3. Conclusies uit Hoofdstuk 6
  
- 7. *Toekomstig onderzoek*
  - 7.1. Onderwerpen voor nader onderzoek: Algemene aspecten
  - 7.2. Onderwerpen voor nader onderzoek: Fundamentele aspecten
    - 7.2.1. De rijtaak
    - 7.2.2. De visuele taak
    - 7.2.3. Onderzoek betreffende de rijtaak
  - 7.3. Onderwerpen voor nader onderzoek: Technische aspecten
    - 7.3.1. Verlichtingskundige aspecten
    - 7.3.2. Berekenen en meten
    - 7.3.3. De meting van de reflectie-eigenschappen en van de luminantie
      - 7.3.3.1. Inleiding
      - 7.3.3.2. De meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken
      - 7.3.3.3. De meting van de luminantie
  - 7.4. Onderwerpen voor nader onderzoek: Ongevallenstudies
    - 7.4.1. Fasering van het onderzoek
    - 7.4.2. Opzet van het onderzoek
  - 7.5. Conclusies uit Hoofdstuk 7

Literatuur

Tabellen 1 t/m 11



## VOORWOORD

Op 6 juli 1992 heeft het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde onder nummer CTU928755 aan de SWOV een opdracht verleend, genaamd 'Openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel; stand van zaken en toekomst'. Hier wordt het eindrapport van deze opdracht gepresenteerd.

Het doel van de studie is om na te gaan welke mogelijkheden er bestaan om de openbare verlichting doelmatiger te maken; dit wil zeggen hoe kunnen de baten groter kunnen worden gemaakt, en/of de kosten verminderd.

Daartoe is de studie in twee onderdelen gedeeld:

Ten eerste een 'state-of-the-art'-rapport waarbij de stand van zaken wat betreft de doeltreffendheid en de doelmatigheid van openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel wordt onderzocht. Aan de hand van dit overzicht worden de eventuele lacunes in de kennis opgespoord.

Ten tweede een op dit state-of-the-art gedeelte gebaseerde toekomstverwachting, waarbij wordt nagegaan wat het noodzakelijke, maar ook wat het meest kansrijke onderzoek is. Het eventueel uit te voeren onderzoek wordt in grote lijnen beschreven; het opstellen van een gedetailleerde onderzoekopzet behoort niet tot dit rapport.

Opgemerkt kan worden dat een deel van het aanbevolen onderzoek goed een plaats kan vinden binnen het project 'Gestuurde verlichting' dat momenteel door de Rijkswaterstaat wordt bestudeerd. Zie voor een opzet het door de Rijkswaterstaat voor het Europese project THERMIE ingediende voorstel (Anon., 1991).

Het eigenlijke rapport wordt voorafgegaan door een uitgebreide samenvatting (een 'executive summary'). Deze samenvatting bevat de belangrijkste gezichtspunten alsmede de conclusies van het rapport; er is naar gestreefd dat deze samenvatting op zichzelf kan worden gelezen.

Bij de opzet van het rapport is gebruik gemaakt van de notitie van T.D.J. van den Brink, genaamd 'Verkeer en licht: visuele aspecten' (Van den Brink, 1991).





## SAMENVATTING EN CONCLUSIES

### 1. *Algemene verkeersaspecten*

De situatie wat betreft het wegverkeer in Nederland is niet stationair. Zowel de omvang van het verkeer alsmede de verdeling ervan over het wegennet is sterk in beweging. Mede in verband met de verdere economische integratie van Europa zijn ingrijpende veranderingen in het verkeer te verwachten, meer in het bijzonder wat betreft de rol van het vrachtverkeer. Ook zijn ingrijpende veranderingen in de nationale en internationale regelgeving te verwachten, waarbij onder meer de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid van wegbeheerders aangaande de aan hen toevertrouwde wegen (en onder meer de verlichting ervan) sterk zal vergroten. Tenslotte zijn op het gebied van de openbare verlichting zelf ingrijpende veranderingen te verwachten, vooral wat betreft het (geautomatiseerde) beheer, maar ook wat betreft de technologie.

Het doel van de studie is om na te gaan of uit de beschikbare kennis een duidelijk standpunt kan worden bepaald omtrent de optimale uitvoering van de verlichting wat betreft de locaties waar openbare verlichting toegepast dient te worden, en de wijze van verlichting. Uit het overzicht van de stand van zaken volgen eventuele lacunes in de kennis; het onderzoek geeft een globaal overzicht over het opvullen van de essentiële lacunes, met de optimale toepassing van openbare verlichting als doel. Bij het optimaliseren is de doelmatigheid (kosten/baten-relatie) van de verlichting het criterium. De kosten en baten betreffen in de eerste plaats de monetaire aspecten ervan, maar het comfort en het gevoel van veiligheid zijn belangrijke 'baten'.

De in omloop zijnde prognoses over het verkeer hebben drie zaken gemeen:

- a. het verkeer neemt toe;
- b. door gebruik te maken van nieuwe inzichten en nieuwe technieken kan het risico worden teruggebracht;
- c. bij deze nieuwe inzichten en nieuwe technieken wordt geen aandacht besteed aan de (verbeteringen van de) openbare verlichting.

### 2. *De technische aspecten van de verlichting*

Op het gebied van de techniek van de openbare verlichting zijn op korte termijn geen ingrijpende veranderingen te verwachten. Wat betreft de lichtbronnen zijn er verbeteringen te verwachten in de lichtopbrengst en de kleurweergave, en mogelijk in de uitbreiding van het assortiment. Deze veranderingen zijn echter steeds geleidelijk en meestal zeer klein. Wat betreft de armaturen zijn geleidelijke, steeds doorgaande verbeteringen van details wat betreft lichtsterkteverdeling, optische karakteristieken, levensduur, bestandheid tegen vuil en water enz. te verwachten. Dit kan tot aanzienlijke verbeteringen leiden. Op langere termijn is het wellicht mogelijk dat lichtgeleiders ruimer zullen worden toegepast.

Enige nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de voertuigverlichting zijn:

- plastic lenzen
- ellipsoïde reflectoren
- hoge-druk ontladingslampen.

Deze drie ontwikkelingen hebben gemeen dat ze uitgaan van een ideale omstandigheid, waarbij het zinvol is om het compromis tussen 'veel verlichten' en 'weinig verblinden' nog verder toe te scherpen. Daarbij wordt aan een aantal (versturende) factoren uit de praktijk voorbij gegaan:

- de wegen zijn niet recht en vlak, maar bochtig, hellend, golvend en tonrond;
- de atmosfeer is niet helder maar vervuld met lichtverstrooiende deeltjes (mist, stof, regen enz.);
- de auto's staan niet stil, maar rijden, hobbelen, draaien enz.;
- de auto's zijn niet leeg, maar beladen en vaak zwaar beladen.

De toepassing van hoge-druk ontladingslampen (HID-lampen) voor autokoplampen kan zekere voordelen hebben:

- de lichtverdeling kan 'breder' worden gemaakt; dit is van belang voor het rijden op bochtige, onverlichte wegen;
- de levensduur is langer en de lichtopbrengst is hoger, zodat bij gelijke verlichting het energiegebruik lager kan zijn.

Ook op het gebied van signaallichten voor voertuigen zijn nieuwe ontwikkelingen in gang. Genoemd kan worden de toepassing van lichtuitstralende diodes (LED's), en verbeteringen in de positie en functie van achterlichten op auto's. Ook verbeteringen in de eigenschappen en toepassingen van retroreflecterende materialen is van belang.

### 3. De doeltreffendheid van openbare verlichting

De doeltreffendheid van verlichting wordt hoofdzakelijk uitgedrukt in de reductie van ongevallen en misdrijven, maar ook subjectieve factoren zijn van belang.

Op stedelijke hoofdwegen met in hoofdzaak een verkeersfunctie, kan men een reductie in de nachtelijke letselongevallen verwachten van ca. 30%, wanneer de verlichting wordt verbeterd van zeer slecht tot goed. Voor (drukke) autowegen en autosnelwegen buiten de bebouwde kom blijken vergelijkbare ongevallenreducties te worden gevonden. De spreiding in het resultaat is echter, wegens de kleinere 'steekproeven' aan wegen, wat groter, zodat het resultaat minder betrouwbaar is. Voor wegen binnen de bebouwde kom is nader onderzoek nodig

● Voor niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom blijkt:

- De n/t-ratio is op verlichte wegen steeds lager, en bij een middelmatig luminantieniveau reeds aanzienlijk lager, dan de ratio op onverlichte wegen.
- Er bestaat een statistisch significante relatie tussen het luminantie-niveau en het risico bij nacht (ongevallen per voertuigkilometer). De luminantie blijkt slechts een vrij klein gedeelte van de variantie te verklaren. Het risico hangt, behalve van de verlichting, nog van andere factoren af.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
------------	---------	----------------	----------

Risico	0,59	0,37	0,26
--------	------	------	------

- Er bestaat een (niet significante) tendens dat ook de dagongevallen per voertuigkilometer (op etmaalbasis) afnemen met toenemende luminantie. Het aandeel van de nachtongevallen (de n/t-ratio) neemt in aanzienlijke mate af bij toenemende luminantie.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
------------	---------	----------------	----------

n/t-ratio	0,33	0,27	0,23
-----------	------	------	------

- Er zijn aanwijzingen dat het risico bij de laagste lichtniveaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg. Het heeft uit overweging van de verkeersveiligheid weinig zin om een 'slechte' verlichting aan te brengen.

- Op 70 stedelijke enkelbaans uitvalswegen in Engeland is voor letselongevallen een duidelijke relatie gevonden tussen het gevaar en het lichtniveau. Maar ook bleek dat bij toenemende gelijkmatigheid het relatieve aandeel van de nachtongevallen toenam.

- Uit een relatie-onderzoek in Nederland aan wegen binnen de bebouwde kom zijn de volgende conclusies getrokken:

- De omvang van het onderzoek is (nog steeds) niet groot genoeg om statistisch significante uitspraken te kunnen doen die betrekking hebben op afzonderlijke wegklassen.

- Voor de wegen met een verkeersfunctie en voor de wegen met een verblijfsfunctie is de verhouding tussen de ongevallen bij duisternis en bij dag vrijwel precies gelijk, ofschoon men mag verwachten dat wegen met een verkeersfunctie een groter nachtaandeel in het verkeer hebben.

- Op straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verblijfsfunctie correspondeert zowel op wegvakken als op kruisingen een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen. Een verdubbeling van het niveau van de verlichting blijkt te corresponderen met een afname van ca. 3% in het aantal nachtelijke ongevallen.

- Op wegvakken van straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen.

- Op kruisingen van straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een hoger nachtaandeel van de ongevallen.

- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat op autosnelwegen of op 80 km/uur-wegen de verkeersafwikkeling bevorderd wordt door een toename van het lichtniveau.

- Bij door bestuurders gerapporteerde visuele problemen bij het rijden bij duisternis is als belangrijkste probleem naar voren gekomen het gebrek aan informatie over het wegverloop door onvoldoende verlichting of door verblinding. De problemen namen toe bij regen. Obstakels die mogelijk gevaar met zich brachten werden niet ontmoet.

- Uit het vragen naar de opinie over de verlichting bleek dat het percentage ontevredenen duidelijk afnam bij toenemende luminantie (van ruim 20% bij 0,3 cd/m<sup>2</sup> naar 11% bij 1,3 cd/m<sup>2</sup>). De waardering bij regen was duidelijk beter, ofschoon de gelijkmatigheid sterk afnam. Het percentage ontevredenen nam bij 0,7 cd/m<sup>2</sup> af van 15% naar 11% bij regen, en bij 1,3 cd/m<sup>2</sup> van 11% naar 9%.

- Uit de gegevens uit Oss blijkt dat het relatieve aandeel van misdrijven bij duisternis duidelijk afneemt bij toenemend lichtniveau. Bovendien blijkt er eveneens een dalende tendens te zijn in de verhouding tussen 'nacht'- en 'avond'-misdrijven bij toenemend lichtniveau.

- Een oriënterende studie betreffende de subjectieve ervaringen leidde tot de volgende gevolgtrekkingen:

- De meningen over de straat bij duisternis en die over de openbare verlichting zijn zeer analoog.

- De mening over de kwaliteit van de openbare verlichting wordt uitsluitend bepaald door het lichtniveau (verlichtingssterkte); de lichtkleur speelt geen enkele rol.
- SOX-verlichting wordt over het algemeen 'akelig' gevonden.
- Men voelt zich 's nachts vaak onveilig op straat.
- Het lichtniveau moet tenminste 3 à 4 lux bedragen om als voldoende beoordeeld te worden (het laagste was 1,7 lux).
- Voor het gaan te voet werd over het algemeen juist voldoende gezien; bij het laagste niveau waarbij deze vraag is gesteld (2,8 lux) was het kennelijk te weinig.

#### 4. De doelmatigheid van openbare verlichting

- De doelmatigheid wordt in eerste instantie uitgedrukt in monetaire factoren. Over de doelmatigheid is nog onvoldoende bekend om tot beleidsbeslissingen te kunnen leiden. Nadere studie aan de monetaire en niet-monetaire aspecten van kosten en baten is nodig, meer in het bijzonder betreffende het comfort en de subjectieve ervaringen van veiligheid.
  - De mate waarin de verlichting aan de functie(s) kan voldoen, hangt voor een groot deel af van de kwaliteit. En deze is voor een aanzienlijk deel maatgevend voor de kosten van de verlichting. Zowel de kosten als de baten kunnen worden onderverdeeld in monetaire en niet-monetaire aspecten. De monetaire kosten zijn te verdelen in drie onderdelen:
    - de installatiekosten;
    - de energiekosten (stroomkosten);
    - de onderhoudskosten.In eerste benadering zijn de installatiekosten en de onderhoudskosten onafhankelijk van het lichtniveau, en de stroomkosten recht evenredig met het lichtniveau.
- De niet-monetaire kosten betreffen een drietal milieu-aspecten:
- het energiegebruik (grondstoffengebruik);
  - de met de energie-opwekking gepaard gaande uitstoot en productie van afval (CO<sub>2</sub>; zwavel; radio-actieve produkten);
  - 'lichtvervuiling' (strooilicht en intrusie).
- Kosten/baten-analyses betreffende openbare verlichting kunnen in beginsel voor drie doelen worden gebruikt:
    - het beoordelen van de algemene doelmatigheid van openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel;
    - het bepalen van het lichtniveau (of de range van lichtniveaus) waar de openbare verlichting doelmatig is;
    - het bepalen van het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken.
  - Onder gebruikmaking van de door de SWOV opgestelde aannamen is het aanbrengen van openbare verlichting op wegen buiten de bebouwde kom met ruim 22.000 voertuigen per etmaal *gemiddeld* doelmatig ('cost-effective'). Wanneer meer accurate gegevens in de beschouwingen worden gebruikt, kan dit resultaat worden toegescherpt, meer in het bijzonder gaat het daarbij om de invloed van het comfort.
  - Voor het opstellen van kosten/baten-vergelijkingen van afzonderlijke wegvakken is

nadere informatie nodig, zowel wat betreft de te gebruiken aannamen over de kostenfactoren als wat betreft de numerieke gegevens van kosten en baten.

### 5. De toekomstverwachting

- De levensduur van een verlichtingsinstallatie (10 tot 15 jaar) kan worden gebruikt als looptijd voor een toekomstvisie.
- Wat betreft de verkeersveiligheid is voor een looptijd van ca. 15 jaar de openbare verlichting alleen van belang wanneer er veel wegverkeer is dat voor een aanzienlijk deel bij duisternis wordt afgewikkeld, en dat bestaat uit afzonderlijke 'eenheden' die ieder door een individuele bestuurder worden bestuurd op basis van ad hoc en in situ te verzamelen visuele informatie.
- Voor de openbare verlichting over 10 à 15 jaar kan worden verwacht dat de eis van een hoog rendement voorop zal staan (zowel de energetisch als financieel). Voorts de betrouwbaarheid, mede met het oog op de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid. Naar verwachting zal aan de sociale veiligheid en de leefbaarheid in verblijfsgebieden meer gewicht worden toegekend, alsmede aan het comfort op verkeerswegen buiten de bebouwde kom.
- Velen die tot nu toe niet veel met verlichting te maken hebben gehad, zullen naar verwachting worden belast met het beheer. Dit zal leiden tot meer uitbesteding.

### 6. Toekomstig onderzoek

- Op drie terreinen zal nader onderzoek nodig zijn:
  - aspecten die met het verkeerssysteem als geheel te maken hebben (algemene aspecten);
  - aspecten die met de grondslagen voor het ontwerp te maken hebben (fundamentele aspecten);
  - aspecten die met de technische realisering van de verlichting te maken hebben (technische aspecten).
- Onderzoek van algemene aard is nodig op de volgende gebieden:
  - prognoses over de economische ontwikkelingen van Nederland;
  - prognoses over verkeer en vervoer;
  - prognoses over het wegennet;
  - prognoses over voertuiggebruik, verdeling over voertuigen en verdeling over het etmaal;
  - prognoses over de onveiligheid van het verkeer;
  - prognoses over de ontwikkeling van het verkeersbeleid en het verkeersveiligheidsbeleid.
- Onderzoek naar fundamentele aspecten betreffende de rijtaak wordt nodig geacht op een aantal terreinen die een nauwe relatie hebben met de verlichting:
  - (a) de waarneembaarheid van objecten:
    - de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz.);
    - het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
    - de adaptatietoestand.
  - (b) beslissingspsychologie;

(c) de rijtaak (Taak I en Taak II);

(d) het operationaliseren van het begrip 'rijcomfort'

- Onderzoek naar fundamentele aspecten betreffende de visuele taak is nodig voor een goed verlichtingsontwerp en voor een goed verlichtingsbeheer. Het gaat om de vraag: wat moet worden gezien: de visueel relevante elementen of de visueel kritische elementen.

- Nader onderzoek aangaande enige technische aspecten is nodig. De hoogste prioriteit wordt toegekend aan de volgende onderwerpen:

1. Nadere uitwerking van een nieuw systeem voor lichttechnische berekeningen toe te passen op moderne PC's, gebruik makend van moderne technieken uit de software. Daarbij dient men zich niet tot de berekening van luminanties te beperken, maar ook andere ontwerp- en beheersaspecten dienen integraal in het programma opgenomen te worden.

2. Uitwerking van nieuwe methoden van meting:

- de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken in situ;
- de meting van de door installaties geleverde luminantie en verblinding.

- Uitbreiding van de ongevallenstudies is nodig. Daarbij ligt de nadruk op het voltooien van Fase II (kruisingen op autosnelwegen), alsmede op Fase III (de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op wegen binnen de bebouwde kom). Naast ongevalstudies kunnen gedragswaarnemingen en conflictstudies worden gebruikt.

- Op een aantal technische punten in nader onderzoek gewenst, zonder de hoogste prioriteit te hebben:

- kwaliteitscriteria (E of L of  $E_{\text{symicyl}}$  enz.)
- samenhang tussen de kwaliteitscriteria
- meestralende verlichting - tegenstraling - symmetrische verlichting
- reflectiefactoren van kleding enz.
- bovenste afsnijhoek voorruit
- relatie en interactie met autolichten
- lichtvervuiling.

## 1. INLEIDING

De situatie wat betreft het wegverkeer in Nederland is niet stationair. Zowel de omvang van het verkeer alsmede de verdeling ervan over het wegennet is sterk in beweging. Mede in verband met de verdere economische integratie van Europa zijn ingrijpende veranderingen in het verkeer te verwachten, meer in het bijzonder wat betreft de rol van het vrachtverkeer. Ook zijn ingrijpende veranderingen in de nationale en internationale regelgeving te verwachten, waarbij onder meer de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid van wegbeheerders aangaande de aan hen toevertrouwde wegen (en onder meer de verlichting ervan) sterk zal vergroten. Tenslotte zijn op het gebied van de openbare verlichting zelf ingrijpende veranderingen te verwachten, zowel wat betreft de technologie als wat betreft het (geautomatiseerde) beheer.

Openbare verlichting is een doeltreffende maatregel waarmee de verkeersveiligheid kan worden bevorderd. Dit is de uitkomst van onderzoek, zowel in Nederland als in het buitenland. Het doel van de studie is om na te gaan of uit de beschikbare kennis een duidelijk standpunt kan worden bepaald omtrent de optimale uitvoering van de verlichting wat betreft de locaties waar openbare verlichting toegepast dient te worden, en de wijze van verlichting. Uit het overzicht van de stand van zaken volgen eventuele lacunes in de kennis; het onderzoek geeft een globaal overzicht over het opvullen van de essentiële lacunes, met de optimale toepassing van openbare verlichting als doel. Bij het optimaliseren is de doelmatigheid (kosten/baten-relatie) van de verlichting het criterium.

Bij de optimalisering van de verlichting dient men verder rekening te houden met het bewaken van het milieu, en met het handhaven van de burgerlijke veiligheid en de leefbaarheid. Het is te verwachten dat in de naaste toekomst veel meer aandacht aan deze onderwerpen zal worden besteed.

## 2. VERANDEREND VERKEER; VERANDERENDE VERKEERSVEILIGHEID

### 2.1. Prognoses

De maatschappij verandert steeds, en daarbinnen veranderen alle aspecten van het menselijk bestaan. Menselijke activiteiten worden vaak afgemeten naar de economische elementen daarin. Men gaat er gewoonlijk van uit dat een economische groei wenselijk is - al is het maar een kleine. De 'deskundigen' zijn van mening dat deze stijging nog gedurende decennia zal aanhouden, en zelfs sterker worden. En het lijkt erop dat ze gelijk krijgen: tot nu toe zijn de meeste prognoses gerealiseerd, en soms door de feiten overtroffen.

In de Tabellen 1 t/m 3 zijn enige prognoses over een bepaald aspect, namelijk het verkeer en het vervoer, gegeven. De gegevens zijn ontleend aan Bovy (1991).

Een ander aspect is het wegennet. Globaal kan men stellen dat het wegennet in Nederland niet of nauwelijks zal worden uitgebreid. De aanzienlijke toename in verplaatsingen zal dus op een nauwelijks toenemend wegenbestand moeten worden afgewikkeld. Drie aspecten komen daarbij naar voren:

1. Te verwachten is dat de kwaliteit van de wegen zal worden verbeterd. Hierbij kan openbare verlichting een rol van betekenis vormen. Ook zijn van verbeteringen aan de voertuigen en van verbeterde regelgeving positieve effecten te verwachten.
2. Te verwachten is dat de spreiding over het gehele etmaal van het verkeersaanbod, met name van het vrachtverkeer, verder zal gaan. Dit kan betekenen dat met name van het vrachtverkeer een steeds groter aandeel bij duisternis zal rijden. Ook hierin kan de openbare verlichting een belangrijke rol spelen. Overigens dient men te bedenken dat er zware milieu-argumenten zijn om het (vracht-)verkeer bij nacht af te remmen.
3. Het is moeilijk te voorspellen hoe de onveiligheid (per voertuigkilometer of per kilometer weg) zal veranderen. Er zijn factoren - los van de onder 1 genoemde verbeteringen - die kunnen leiden tot een relatieve afname van de ongevallen, maar andere factoren kunnen leiden tot een toename ervan.

In de Tabellen 4 en 5 is een aantal prognoses gegeven over het wegennet en de verkeersprestatie. De gegevens uit deze tabellen zijn ontleend aan Janssen (1988). Deze prognoses zijn niet precies gelijk aan die van de Tabellen 1 t/m 3, omdat ze op een ander moment zijn gemaakt, en omdat er andere ideeën over de door de overheid te volgens strategieën bestaan.

In de Tabellen 6 en 7 zijn prognoses gegeven die de relatieve onveiligheid en de totale onveiligheid betreffen. Ook deze tabellen zijn gebaseerd op gegevens van Janssen (1988). De prognoses zijn gebaseerd op ongewijzigd beleid en op een 'middenvariant'. Interessant is dat deze prognoses, die uit 1988 stammen, de toekomst niet rooskleurig inzien. Het mag worden aangenomen dat deze prognoses een rol hebben gespeeld bij een aanpassing van het beleid; de gedachte van 'ongewijzigd beleid' wordt niet meer verdedigd. In Koornstra et al. (eds). (1992) zijn prognoses gegeven die gebaseerd zijn op meer moderne ideeën over hoe het wegverkeer dient te worden ingericht. Ook de ideeën over verkeersveiligheid evolueren (Schreuder, 1992).



Deze prognoses zijn mede gebaseerd op drie uitgangspunten:

Ten eerste is ervan uitgegaan dat het totale wegennet in ten hoogste drie categorieën zal worden ingedeeld, te weten: stromen, ontsluiten en verblijven.

Ten tweede is de (gereden) snelheid als misschien wel de belangrijkste ingang voor de veiligheid wordt gezien.

Ten derde wordt veel verwacht van het ontwikkelen van nieuwere en betere verkeersveiligheidsmaatregelen.

In Tabel 8 is een aantal prognoses uit het bedoelde rapport gegeven. In de tabel is sprake van vier varianten. Deze komen globaal neer op het volgende:

Variant 0. Ten opzichte van 1986 is alleen een andere wegindeling gebruikt. Verkeersprestatie en risico per wegtype blijven gelijk.

Variant I. De verkeersprestatie neemt met 35% toe; dit extra verkeer komt vooral op autosnelwegen terecht.

Variant II. De verkeersprestatie is verdeeld zoals bij Variant I. Het risico per wegtype wordt lager door minder 'ontmoetingen'; lagere snelheid; uniform wegontwerp en uniforme gedragsregels per wegtype.

Variant III. Als Variant II, maar het risico is voor alle wegtypen genomen conform de laagste die in 1986 is geconstateerd.

Al deze prognoses hebben drie zaken gemeen:

- a. het verkeer neemt toe;
- b. door gebruik te maken van nieuwe inzichten en nieuwe technieken kan het risico worden teruggebracht;
- c. bij deze nieuwe inzichten en nieuwe technieken wordt geen aandacht besteed aan de (verbeteringen van de) openbare verlichting.

Het is het hoofddoel van de onderhavige studie om aan te geven dat het de moeite waard is deze merkwaardige omissie goed te maken. Daarvoor zullen we ons bezig houden met de openbare verlichting als verkeersmaatregel, en ons meer speciaal richten op de doeltreffendheid en de doelmatigheid van de openbare verlichting.

## 2.2. Conclusies uit Hoofdstuk 2

Niet alleen de omvang van het wegverkeer in Nederland alsmede de verdeling ervan over het wegennet verandert - meer in het bijzonder wat betreft het vrachtverkeer - maar ook de nationale en internationale regelgeving.

## 2.3. Onbeantwoorde vragen

Uit de bovenstaande beschouwingen komen vragen naar voren, die nog moeten worden beantwoord. Deze vragen liggen buiten het eigenlijke terrein van de verlichtingskunde, en het is dan ook niet te verwachten dat ze middels verlichtingskundig onderzoek kunnen (of zullen) worden opgevuld. De vragen worden in deze paragraaf (in vragende vorm) kort samengevat; aangenomen wordt dat deze lacunes in de kennis in de nabije toekomst zullen worden aangepakt.

- Is het toelaatbaar om menselijke activiteiten af te meten naar de economische elementen daarin?

- Is het zinvol om (nog steeds) uit te gaan van een (verdere) economische groei?
- Is het correct om uit te gaan van een wegennet van constante omvang?
- Mag men ervan uitgaan dat de kwaliteit van de wegen zal worden verbeterd?
- Mag men ervan uitgaan dat de openbare verlichting daarbij gebruikt zal worden?
- Wordt aan het (vracht-)verkeer inderdaad ruimte geboden om naar de nacht uit te wijken?
- Hoe zal de onveiligheid (per voertuigkilometer of per kilometer weg) veranderen?
- Welk beleid op middellange termijn mag men verwachten wat betreft verkeer, economie en milieu?
- Maakt de herindeling van het totale wegennet in niet meer dan drie categorieën (stromen, ontsluiten en verblijven) een kans?

Een verdere uitwerking van het onderzoek naar de verlichtingskundige aspecten dat daaruit voort vloeit, en een schets voor de proefopzet wordt in Hoofdstuk 7 van deze studie gegeven; een gedetailleerde proefopzet valt buiten het kader van de onderhavige studie.

### 3. OPENBARE VERLICHTING TEN DIENSTE VAN HET WEGVERKEER

#### 3.1. Verkeer bij duisternis

In de meeste industrielanden vindt een aanzienlijk deel van het gemotoriseerde wegverkeer bij duisternis plaats. De verdeling van het verkeer over dag en duisternis verschillen per wijze van verkeersdeelname en per wegtype. Zo bestaat de indruk dat er bij duisternis relatief meer beroepsvervoer (vooral vrachtvervoer) en minder privévervoer. Op autosnelwegen wordt 15 à 20% van het totale verkeer tussen 19.00 en 07.00 uur afgewikkeld, terwijl dit voor woonstraten veelal niet meer dan 2 à 3% is.

Evenzeer van belang is het verschil in verkeerssamenstelling. Het langzaam verkeer (voetgangers en fietsers) wordt in hoofdzaak bij dag afgewikkeld. Onder automobilisten is het percentage jongeren bij duisternis bepaald groter dan overdag; de bezettingsgraad van de auto's is dan hoger, en ook is 's nachts deelname aan het verkeer na het gebruik van alcohol zeer veel hoger. De verkeersdrukte later in de nacht is lager dan overdag, terwijl ook ongunstige weersomstandigheden 's nachts vaker voorkomen dan overdag (mist, gladheid, vochtige en natte wegen enz.).

Er bestaan aanzienlijke verschillen tussen dag en duisternis wat betreft het verkeer en de verkeerssamenstelling. Daarom moet men rekenen op een aanzienlijk verschil in het ongevallenplaatje' overdag en bij duisternis. Bij duisternis is het ongevallenquotiënt (ongevallen per voertuigkilometer) aanzienlijk hoger dan overdag; bovendien is de ernst van de ongevallen aanzienlijk hoger dan die van overdag. Uit onderzoek is echter duidelijk gebleken dat alleen de verschillen in het verkeer niet voldoende zijn om het extra ongevallenrisico te verklaren: de duisternis zelf is kennelijk een aanzienlijke risicoverhogende factor. Ook regen en natte weg is een extra risicofactor. Vooral bij de combinatie van regen en duisternis is het risico aanzienlijk hoger dan bij droog weer overdag. Ter illustratie zijn in Tabel 9 enige gegevens voor 1991 voor Nederland verzameld.

Overdag vindt bijna 80% van de ongevallen bij droog weer plaats; bij natte weg (in alle combinaties) ca. 20%. Een klein gedeelte is 'onbekend'. Bij regen vinden bijna 9% van de ongevallen plaats. In 1991 heeft het, gemiddeld over de stations die de duur van de regenval registreren, 560 uur geregend; dat is 6,4% van de tijd (KNMI, 1992). Het 'overschot' van de regenongevallen is dus 39,7%. Regen is - zoals bekend - een belangrijke risicofactor in het verkeer. Bij duisternis is het percentage voor ongevallen bij regen ongeveer tweemaal zo groot als bij daglicht (16,5%). Het 'overschot' van de regenongevallen is dus veel groter en wel ruim 158%. Daarbij is aangenomen dat regen bij nacht even frequent is als bij dag. Zoals hierboven reeds is gesteld, blijkt vooral de combinatie van regen en duisternis extra risico op te leveren. Zie ook OECD (1972, 1976).

Opvallend is dat voor wegen met openbare verlichting het percentage hoger is dan voor onverlichte wegen. Men zou kunnen menen dat openbare verlichting een 'gevaarlijke' maatregel is, of dat de mogelijke winst in veiligheid die door de openbare verlichting wordt verschaft, wordt 'opgebruikt' door een toename van het risiconemend gedrag (de zgn. risico-homeostase-gedachte; Wilde, 1982, 1982a, 1984). Uit ander onderzoek, waarop in andere delen van deze studie in detail wordt ingegaan, blijkt echter dat openbare verlichting op zichzelf een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel is (Hoofdstuk 4).

Hieruit kan men besluiten dat het waarschijnlijk die wegen zijn welke een extra risico met zich brengen, die van openbare verlichting worden voorzien, maar dat de openbare verlichting het extra risico niet geheel kan goed maken. Deze suggestie kan ook in andere gevallen naar voren worden gebracht.

### 3.2. Zien en gezien worden

Men is vrijwel nooit alleen in het verkeer. Om het einddoel van de tocht te bereiken, en wel zonder onderweg ergens tegenaan te botsen (de twee hoofdaspecten van de zogenaamde verkeerstaak) is het niet genoeg om alle zaken die van belang zijn te kunnen zien; men moet ook gezien kunnen worden. Soms overheerst het ene, vaak ook het andere. Wanneer men per auto buiten de bebouwde kom rijdt, is in de eerste plaats het kunnen 'zien' van belang. Maar voor een fietser in het drukke verkeer van een grote stad is het 'gezien worden' van veel meer belang. Fietsen moeten een behoorlijke markering hebben, vooral bij duisternis.

Iets dergelijks geldt voor het snelverkeer. Autoverlichting heeft even-zeer deze functies: verbeteren van het 'zien' alsmede het verbeteren van het 'gezien worden'.

Openbare verlichting is bij uitstek een hulpmiddel om bij duisternis zowel het 'zien' als het 'gezien worden' te verbeteren. Deze subjectieve ervaring kan met ongevallenstudies worden onderbouwd. Zie par. 4.2.

### 3.3. De theorie van de waarneming

#### 3.3.1. *Waarnemingsaspecten*

##### 3.3.1.1. Waarneembaarheid

Wanneer we de eisen die aan de waarneming in het verkeer willen onderzoeken, dan is het uiteraard van belang om na te gaan waar deze waarneming voor dient. Deze vraag lijkt een vanzelfsprekend antwoord op te leveren: het ontwaren van gevaarlijke obstakels. Dit is terecht, maar het is slechts een deel van het antwoord. We zullen ons bij de verdere bespreking van de waarneming beperken tot de waarneming zoals die door een bestuurder van een motorvoertuig (personenauto, vrachtwagen of motorfiets) moet worden uitgevoerd. Voor andere verkeersdeelnemers gelden zeer analoge beschouwingen; de ervaring heeft echter geleerd dat op grond van de lagere snelheid, de eisen die eruit volgen, over het algemeen minder zwaar zijn. Daarom beperken wij ons in deze studie tot de automobilisten.

Bij de waarneming van objecten in het verkeer dient steeds een aantal aspecten te worden onderscheiden. Deze aspecten zullen worden toegelicht aan de hand van de omschrijving van een aantal begrippen:

*Waarnemen* (waarneembaarheid): hieronder wordt verstaan het algemene begrip van het verzamelen en verwerken van informatie. Waarnemen is in laatste instantie het overbrengen van informatie. Waarneembaarheid is een kwalitatief begrip.

*Detecteren* (detecteerbaarheid): hieronder wordt verstaan de mate waarin aan de primaire waarneming wordt voldaan, waarbij alleen de aanwezigheid van een object wordt geconstateerd. Meestal wordt de detecteerbaarheid onder laboratoriumomstandigheden bepaald en uitgedrukt in drempelwaarden: de kans (meestal gesteld op 50%) dat het object ont-

waard wordt. Detecteerbaarheid is een kwantitatief begrip. Wanneer het om de visuele waarneming gaat, spreekt men meestal van de zichtbaarheid.

*Opvallen* (opvallendheid): hieronder wordt verstaan de mate waarin het object kan worden waargenomen in de 'werkelijke wereld', waarbij rekening wordt gehouden met de in de werkelijke wereld voorkomende verstoringen. De opvallendheid is te beschouwen als het 'vermogen' van een object om de aandacht te trekken, resp. te richten. Opvallen heeft te maken met concurrentie. De opvallendheid wordt meestal in veldexperimenten bepaald; ze wordt gewoonlijk uitgedrukt in de mate waarin de drempelwaarde (zie detecteerbaarheid) wordt overschreden (in de verlichtingskunde gebruikt men vaak de term 'bovendrempeligheid'). Opvallendheid is een kwantitatief begrip.

*Herkennen* (herkenbaarheid: hieronder wordt verstaan de mate waarin de vergelijking van het object met de inhoud van het 'geheugen' mogelijk is; de mate waarin het object aan een klasse van vooraf bekend objecten kan worden toegedeeld. De herkenbaarheid wordt bepaald met de methoden van de cognitieve psychologie; aangezien nog maar weinig kwantitatieve methoden ter beschikking staan, is herkenbaarheid een semi-kwalitatief begrip.

In simpele psychologische termen: detecteerbaarheid hoort tot de waarnemingsfysiologie; de opvallendheid tot de functiepsychologie, en herkenbaarheid tot de cognitieve psychologie. Op dit gebied is recentelijk veel onderzoek uitgevoerd; veel onderzoek is nog niet afgesloten. Een gevolg daarvan is dat er op een aantal details nog geen eenstemmigheid is tussen de op dit terrein werkzame onderzoekers. Er schijnt echter onder de 'deskundigen' voldoende overeenstemming te bestaan om de resultaten ervan als basis voor verlichtingskundige studies te gebruiken. Overzichten van de literatuur zijn gegeven in: Hagenzieker (1989, 1990, 1991, 1991a); Hagenzieker & Van der Heijden (1990, 1990a); Noordzij et al. (1993); Norman (1976); Riemersma (1988, 1988a, 1988b); Schreuder (1985, 1985a, 1985b, 1988a, 1988b, 1991); Theewes (1989, 1990, 1992); Wertheim (1986).

Men kan stellen dat in de gegeven volgorde (detecteerbaarheid - opvallendheid - herkenbaarheid) steeds 'hogere' niveaus van het centrale zenuwstelsel, alsmede van het bewustzijn, bij de waarneming betrokken zijn. Dit is van belang wanneer men maatregelen overweegt om de waarneembaarheid te verbeteren: aan de zichtbaarheid is niet veel te doen; de opvallendheid kan door training, en de herkenbaarheid door opleiding en educatie worden verbeterd.

Een essentieel onderdeel van het waarnemingsproces is uiteraard het waar te nemen object.

In vele gevallen is het gemakkelijk aan te geven welk object waargenomen dient te worden; in het wegverkeer is dit echter niet het geval. We komen verderop nog terug op 'het' object bij wegverkeer (par. 3.3.1.8), maar we vermelden ter illustratie reeds hier het discussiepunt betreffende het al dan niet stationair zijn van het object. Vroeger nam men meestal genoegen met een stationair object, ook omdat zulks gemakkelijk op volle schaal kan worden onderzocht; momenteel overheerst de mening - tenminste in Europa - dat een stilstaand object nauwelijks, en een stilstaande waarnemer in het geheel niet relevant is voor de waarneming in het wegverkeer.

### 3.3.1.2. Verwachtingspatroon

Bij de aspecten van de waarneming is het verwachtingspatroon van groot belang. Hieronder wordt verstaan de mate waarin het 'opduiken' van een object van een bepaalde klasse 'in de lijn der verwachtingen' ligt. Onverwachte objecten worden veel moeilijker - later, slechter, of soms in het geheel niet - gedetecteerd in vergelijking tot verwachte objecten.

De verwachting zelf hangt af van:

- de bekendheid met de objecten (algemene ervaring als verkeersdeelnemer);
- de bekendheid met de situatie (plaatselijke ervaring van de verkeersdeelnemer).

De waarneming van de objecten hangt af van:

- de waakzaamheid van de waarnemer (arousal);
- de oplettendheid van de waarnemer (alertness).

Op dit gebied is zeer veel onderzoek gedaan. Tamelijk oude, maar zeer complete overzichten van het belang van het verwachtingspatroon op de waarneming (in hoofdzaak visueel, maar ook akoestisch) en op de daarop gebaseerde beslissingspatronen zijn gegeven in Broadbent (1958); Graham (ed.) (1965); Krendel & McRuer (1960). Modernere overzichten zijn gegeven in Michon et al. (eds.) (1976, 1979); Norman (1976); Sheridan & Ferrell (1974) en in de verslagen van de jaarlijkse 'NASA Conferences on Manual Control'; zie bijvoorbeeld Krendel & McRuer (1969). Griep (1971) heeft een nog steeds actueel overzicht gegeven van de invloed van verwachtingspatronen op de perceptie in het verkeer. Zie ook Blaauw & Riemersma (1975); Padmos (1984); Walraven (1980); Krendel & McRuer (1986); Weir & McRuer (1967). In par. 3.3.1.3. komen we terug op het verwachtingspatroon, met name in verband met het zoekgedrag. Het verwachtingspatroon is een belangrijke factor in de gedachten over de categorisering van wegen, en de herkenbaarheid van de klassen (Janssen, 1974, 1979, 1988); Janssen & Schreuder (1974).

### 3.3.1.3. De rijtaak

#### A. Beslissingsmodellen

Een belangrijke determinant voor de verkeersveiligheid is het gedrag van de verkeersdeelnemers in het verkeer (het *verkeersgedrag*). Net als alle gedrag is het gebaseerd op, en volgt het op, de opname (eigenlijk de verwerking) van *informatie*. Onder de *rijtaak* wordt gewoonlijk verstaan de verzameling van acties die van een bestuurder van een (motor)voertuig worden verwacht opdat hij/zij op adequate wijze aan het verkeer kan deelnemen. Wanneer men aan andere wijzen van verkeersdeelname denkt, kan men ook van de 'verkeerstaak' spreken. Zoals gezegd, speelt het verwerken van informatie (van waarnemingen) een essentiële rol bij het vervullen van de rijtaak.

Er zijn enige modellen van de rijtaak in omloop. Een overzicht van de meer gangbare modellen is gegeven in Schreuder (1972). Opvallend is dat er sindsdien niet veel modellen zijn bijgekomen; de verdere ontwikkelingen hebben zich vooral beperkt tot het werken met de modellen. Zie ook Janssen (1986); OECD (1992a).

- Het eenvoudigste model is het bekende 'behavioristische' model, dat bestaat uit een *stimulus* en de daaruit volgende *responsie* (het zgn. S-R-model). In vele gevallen voldoet dit model voor het beschrijven van (menselijk en dierlijk) gedrag; vandaar de populariteit ervan.

- In vele gevallen blijkt het S-R-model echter ernstig te kort te schieten; een aanzienlijke

verbetering kan worden gevonden door tussen de opname van informatie en het uitvoeren van acties (het gedrag) een tussenfase in te voeren: een *beslissingsproces* (de decisie D). Heel veel acties van mensen kunnen worden beschreven met het iets gecompliceerdere 'beslissingsmodel', het S-D-R-model.

### B. Manoeuvres

Vaak worden de responsies wat concreter geïnterpreteerd, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de verkeersveiligheid wordt gekwantificeerd in termen van *ongevallen* (botsingen). Ongevallen op hun beurt kunnen worden beschreven als verstoringen van een op zichzelf 'gezond' verkeer. Het verkeer tenslotte kan worden beschreven als een opeenvolging van uit te voeren *manoeuvres*, die ieder het resultaat zijn van een *beslissingsproces* en ieder volgen op een *informatieverwerking* (het S-D-R-model dus). Manoeuvres kunnen worden gerangschikt in een *hiërarchisch* systeem waarbij aan de ene kant ('bovenaan') de keuze van reisdoel, route en vervoermiddel staan; aan de andere kant ('onderaan') het feitelijke besturen van het voertuig of het feitelijke lopen (Asmussen, 1972; Janssen & Schreuder, 1974; Schreuder, 1970, 1970a, 1974).

In het algemeen dient de waarneming om de visuele informatie te verzamelen die nodig is om de voor het deelnemen aan het verkeer noodzakelijke manoeuvres te kunnen uitvoeren. Deze manoeuvres kunnen worden ondergebracht in een hiërarchie van beslissingsprocessen (Schreuder, 1974; 1977). Het kan daarbij gaan om *elementaire manoeuvres* ('gewoon' doorrijden, binnen resp. buiten de rijstrook uitwijken, snelheid aanpassen, en tenslotte stoppen). Uit deze elementaire manoeuvres kunnen *samengestelde manoeuvres* worden samengesteld (bochten nemen, voorrangskruisingen passeren, inhalen enz). Anderzijds kunnen de elementaire manoeuvres in *manoeuvredelen* worden opgesplitst (snelheid handhaven, afstand tot voorligger handhaven, dwarspositie handhaven). Het beslissingsniveau waarop deze manoeuvres plaatsvinden, wordt aangeduid met de term *manoeuvreniveau*. Bij het bestuderen van de verkeersveiligheid ligt het zwaartepunt bij de 'onderste' manoeuvres. Erboven (en eronder) liggen andere niveaus, die te maken hebben met resp. de keuze van de route enz, en met de bediening van het voertuig. Deze mogen niet worden vergeten.

Voor ons onderwerp is alleen het manoeuvreniveau van belang. Een gedetailleerde bespreking van deze hiërarchie van beslissingsprocessen en van de ermee samenhangende waarnemingsprocessen is gegeven door Schreuder (1974). Hieronder geven we een schema van dit hiërarchische systeem.

strategisch niveau	hogere beslissingen	a
	route-selectie	b
tactisch/manoeuvre-niveau	complexe manoeuvres	c
	elementaire manoeuvres	d
	manoeuvredelen	e
operationeel niveau	voertuig hanteren	f

Hierbij moeten we op ieder niveau rekening houden met het doel en de middelen (of de weg). Het doel spreekt voor zich; de middelen vertegenwoordigen de weg om dat doel te bereiken. Op ieder niveau zijn deze twee te aan te geven; maar meestal is het middel op een bepaald niveau  $n$  op zichzelf een doel op een niveau dat een lager ligt ( $n-1$ ). Omgekeerd is het doel op niveau  $n$  een middel op niveau  $n+1$  (Schreuder, 1985c, zie ook par. 3.3.1.4).

### C. Stuurmanoeuvres en uitwijkmanoeuvres

Het 'gezonde' verkeer betreft de verzameling van de gedragselementen die te maken hebben met het bereiken van het einddoel van de verplaatsing; het 'zieke' gedeelte met plotseling optredende, ongewenste verstoringen die aanleiding geven tot *uitwijkmanoeuvres* of *ontwijkmanoeuvres* die ten doel hebben botsingen te vermijden. Botsingen kunnen dus worden beschreven als mislukte ontwijkmanoeuvres.

Er zijn dus twee soorten manoeuvres te onderscheiden: 'stuurmanoeuvres' die ten doel hebben om het einddoel te bereiken, en 'ontwijkmanoeuvres' die ten doel hebben botsingen te vermijden. De eerste betreffen de lagen  $c + d + e$  van het bovenvermelde schema; de tweede liggen uitsluitend op niveau  $e$ . De manoeuvres zelf lijken veel op elkaar; in laatste instantie gaat het bij allebei om het uitvoeren van handelingen die de *verplaatsing* regelen. Bij het per voertuig aan het verkeer deelnemen zijn dit in laatste instantie voertuigbewegingen; voor een voetganger zijn het de analoge elementen van de verplaatsing. Bij het bestuderen van de verkeersveiligheid (de verkeersonveiligheid) komen beide typen manoeuvres aan de orde. We gaan hier niet in op de vraag of er een scherpe grens tussen de twee soorten manoeuvres kan worden getrokken, of dat er van een geleidelijke overgang tussen die twee sprake is. Voor onze verdere bespreking hanteren we de beschrijving van een dichotomie.

Bij het uitvoeren van manoeuvres is te verwachten dat objecten die in het verwachtingspatroon vallen, gemakkelijker worden waargenomen dan objecten die 'vreemd' of 'onverwacht' zijn. Op grond van deze overwegingen kan de rijtaak (of eigenlijk de verkeers-taak), worden verdeeld in een 'Taak I' die te maken heeft met manoeuvres ten gevolge van *verwachte* objecten, en een 'Taak II' die te maken heeft met *onverwachte* objecten. Een belangrijk verschil tussen de stuurmanoeuvres en de ontwijkmanoeuvres is, dat de eerste het resultaat zijn van een expliciet beslissingsproces; het gaat om *sturen*, hetgeen wil zeggen dat er een *koers* wordt uitgezet, en dat tijdens de rit de bestaande koers ('Istwert') steeds vergeleken wordt met de uitgezette koers ('Sollwert'); het verschil tussen deze twee is het ingangssignaal voor het stuurproces. Aan de hand van dat verschil wordt zo nodig *bijgestuurd*. Stuurmanoeuvres beantwoorden aan het S-D-R-model (Schreuder, sturen en regelen). Daarom is de term *cybernetica* hier gebruikt. Uiteraard zijn de termen 'koers', 'uitzetten' en 'bijsturen' meer overdrachtelijk dan letterlijk gebruikt. Bij ontwijkmanoeuvres daarentegen wordt 'passief' (vaak automatisch) gereageerd op de prikkeling, zonder dat van een expliciete beslissing sprake is. Ontwijkmanoeuvres corresponderen met het S-R model.

### D. Modelbeschouwingen

In het verleden is veel studie aan deze modellen gewijd. De eerste studies dateren uit de jaren zeventig (Asmussen, 1972; Griep, 1971, Schreuder, 1970; 1970a). Deze studies waren sterk theoretisch getint, en bovendien, door gebrek aan resultaten van bruikbare



experimenten, vooral kwalitatief. Vrijwel steeds werden terugkoppelloops (feed-back) toegevoegd; ook het geheugen kreeg een plaats. Een overzicht is gegeven in Schreuder (1972). Ofschoon de vorderingen in de cognitieve psychologie hun neerslag hebben gekregen in allerlei cognitieve en heuristische modellen, zijn de simpele S-R- en S-D-R-modellen in vele gevallen toereikend, en vaak ook zeer illustratief.

Bij het uitvoeren van manoeuvres worden objecten die in het verwachtingspatroon vallen, gemakkelijker waargenomen dan objecten die 'vreemd' of 'onverwacht' zijn. Meer in het bijzonder moet men bij onverwachte objecten met een langere 'reactietijd' rekenen dan bij verwachte objecten.

### E. Zoekgedrag

Ervaren verkeersdeelnemers spelen hierop in. Deze verkeersdeelnemers zoeken op actieve wijze de omgeving af naar die objecten die volgens hun verwachtingspatroon in de betreffende situatie van weg en verkeer aanwezig zullen zijn. Over het zoekgedrag is veel onderzoek gedaan. Het betreft bij voorbeeld studies van oogbewegingen, waarbij is gebleken dat ervaren autobestuurders een geheel andere zoekstrategie vertonen dan nieuwelingen (Cohen, 1985; Cohen & Zwahlen, 1979, 1989; Matanzo & Rockwell, 1967; Riemersma, 1979; Rockwell et al., 1967; Zwahlen, 1980). Ook is op dit gebied psychologisch onderzoek uitgevoerd. Er is echter geen kwantitatief onderzoek bekend dat een antwoord geeft op de vraag in welke mate de waarneembaarheid objecten bevordert wordt door het 'juiste' verwachtingspatroon, of door doelgerichte zoekstrategieën. In par. 7.2.3 is een schets gegeven voor een mogelijk onderzoek dat wel een rechtstreeks antwoord kan geven op deze vraag. Een aantal praktijkstudies zijn door Padmos en Walraven uitgevoerd betreffende de situaties en voorwerpen die bij het rijden in het verkeer tot kritische situaties aanleiding kunnen geven. Het ging er vooral om, om na te gaan aan welke eisen de verlichting (openbare verlichting of voertuigverlichting) moet voldoen om een effectief zoekgedrag mogelijk te maken (Walraven, 1980; Padmos, 1984; zie ook CIE, 1993).

Een onderdeel van deze materie dat vrijwel geheel *niet* is onderzocht, is de invloed van de *motivatie* op het verwachtingspatroon. Het maakt waarschijnlijk veel uit of de weggebruiker 'bereid' is om naar iets uit te kijken. Een aantal aspecten van de motivatie is behandeld door Schreuder (1972).

#### 3.3.1.4. Beslissingsprocessen

##### A. Automatisch en bewust gedrag

Gedrag dat volgens het S-R-model kan worden beschreven, noemt men wel automatisch gedrag. Het gaat daarbij om *reflexen* die al dan niet aangeleerd kunnen zijn. In het verkeer gaat het vooral om het besturen van een voertuig, en alle gedrag dienaangaande is aangeleerd. Men kan dan, in navolging van de psychologische terminologie, spreken van *voorwaardelijke reflexen*. Daaronder wordt verstaan die reflexen (die automatische handelingspatronen) die alleen in gang worden gezet wanneer aan bepaalde voorwaarden is voldaan - de *prikkel*. Gedrag dat met het S-D-R-model wordt beschreven, is bewust gedrag; het volgt na een bewust te nemen beslissing.

Bij voorwaardelijke reflexen speelt de *terugkoppeling* een belangrijke rol. Immers, een reflex kan alleen dan ontstaan wanneer aan bepaalde voorwaarden is voldaan (vandaar de

naam), en deze voorwaarden moeten worden waargenomen en in het reflex-proces worden opgenomen. Verderop komen we zowel terug op deze terugkoppelingen als op een speciaal geval van de terugkoppeling, de *tegenkoppeling* (par. 3.3.1.7).

Wanneer men automatisch en bewust gedrag vergelijkt, blijkt dat ieder voor het verkeer bepaalde 'voordelen' maar ook 'nadelen' heeft. Automatisch gedrag gebeurt zekerder, maar herstel is nauwelijks mogelijk en van enige flexibiliteit is geen sprake. Bewust gedrag kost echter meer tijd, en het slurpt aandacht op. Bovendien leidt bewust gedrag veel sneller tot vermoeidheid. Men kan zich dus gemakkelijk voorstellen dat voor sommige aspecten van het verkeersgedrag automatisch gedrag de voorkeur heeft, en voor andere aspecten het bewust gedrag.

Men kan het opdoen van rijervaring (verkeerservaring) beschrijven als het overgaan van bewust aan automatisch gedrag. Bepaalde gedragsopvolgingen komen zo vaak voor dat ze als een voorwaardelijke reflex kunnen worden beschouwd. Men kan nog een stap verder gaan, en de rijopleiding (de verkeerseducatie meer in het algemeen) beschouwen als een gerichte opleiding om de daarvoor in aanmerking komende gedragelementen 'over te hevelen' van het gebied van het bewuste gedrag naar het gebied van het automatische gedrag.

#### B. *Beslissingen*

Men verwacht van de verlichting een bijdrage tot de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid. Beslissingen dienaangaande worden genomen door het 'beleid', maar ook de beslissingen te nemen door de ontwerpers en beheerders van de verlichting, alsmede door de weggebruikers zijn van belang. Hier gaan we in op een bepaald aspect van beslissingsprocessen, en wel de - steeds terugkerende - relatie tussen 'doel' en 'middel'. Details van dit aspect zijn besproken door Schreuder (1985c).

Beslissingen worden genomen op basis van informatie, en leiden tot een actie. Men kan daarbij voor de praktijk het nemen van een beslissing en het maken van een keuze als gelijkwaardig beschouwen. Het is een onbeantwoorde vraag of mensen in staat zijn 'in-eens' een keuze te maken uit drie of meer alternatieven. Het is niet nodig om deze vraag hier te beantwoorden, omdat het altijd mogelijk is om dergelijke beslissingen te reduceren tot (mogelijk een serie van) keuzen tussen twee alternatieven. Men kan het gekozen van de twee alternatieven beschouwen als het 'doel' van de beslissing. Een doel is echter nooit een 'echt einddoel': het doel is steeds te beschouwen als een middel om een in ruimte of tijd verder weg liggend doel te bereiken.

Beslissingen kunnen steeds in een hiërarchische opklimming worden gerangschikt, waarbij het doel op niveau  $n$  steeds het middel is op niveau  $n+1$ ; het doel op niveau  $n+1$  is het middel op niveau  $n+2$ , enz. Omgekeerd is het middel op niveau  $n$  het doel op niveau  $n-1$ , enz. Voor de praktijk kan de reeks naar beide kanten als onbegrensd worden beschouwd (Schreuder, 1985c).

#### 3.3.1.5. Waarnemen en beslissen; informatieverwerking

Alle manoeuvres volgen *per definitie* op het verwerken van informatie en zijn het gevolg (het resultaat) van een beslissingsproces. De informatie die verwerkt wordt, bestaat voor

een deel uit informatie die *on line* en *in situ* uit de omgeving worden afgeleid, en voor een deel uit informatie die uit de 'voorraad' (het *geheugen*) wordt geput. De uit de omgeving opgenomen informatie is vrijwel uitsluitend visuele informatie.

Men kan stellen dat bij de niveaus a en b uit het bovenvermelde schema de informatieverwerking plaats vindt voordat aan de tocht wordt begonnen. Bij de niveaus c, d en e vindt de informatieverwerking tijdens het rijden plaats. Bij niveau f speelt visuele informatie uit de omgeving nauwelijks een rol.

Waarnemen en beslissen worden als onderdelen beschouwd van de rijtaak, of, beter gezegd, van de verkeerstaak. Na de reeds vermelde studies van Asmussen, Griep en Schreuder is, meer recent veel, ook kwantitatief, resultaat ter beschikking gekomen. Overzichten zijn gegeven door Hagenzieker (1989), Riemersma (1979, 1985) enz. Veel van dit onderzoek betreft waarnemen op de rechte weg, maar ook is veel studie gedaan aan waarneembaarheid in bogen. Zie bijvoorbeeld Armour et al. (1989), Cavallo et al. (1988), Levelt (1987), Riemersma (1988b, 1989, 1989a, b).

In het algemeen dient de waarneming om de visuele informatie te verzamelen die nodig is om de voor het deelnemen aan het verkeer noodzakelijke manoeuvres te kunnen uitvoeren. In par. 3.3.1.3 hebben we in detail deze manoeuvres besproken.

Dit alles geldt voor manoeuvres die te maken hebben met objecten die in het verwachtingspatroon liggen. Wanneer een verkeersdeelnemer geconfronteerd wordt met onverwachte objecten, zijn veelal *noodmanoeuvres* nodig, die een aantal andere kenmerken kunnen vertonen dan de hier beschreven 'gewone' manoeuvres. We komen terug op deze noodmanoeuvres in de volgende paragraaf.

### 3.3.1.6. De zichtruimte

#### A. Verwachtingen

Hierboven hebben we reeds aandacht besteed aan het verwachtingspatroon, en aan het belang ervan voor het adequate verkeersgedrag (par. 3.3.1.3). Hier behandelen we het belang ervan voor de informatieverwerking.

Visuele informatie is de *input* van het (gedrags-)systeem; de handelingen (het verkeersgedrag) is de *output* ervan. Het systeem is een beslissingssysteem. De beslissingen betreffen de keuze (de *selectie*) van de meest adequate manoeuvre gegeven de input. De selectie hangt dus af van de omstandigheden. Om de juiste keuze van de manoeuvre te kunnen maken, heeft de verkeersdeelnemer derhalve een *beeld* nodig van de omgeving. Dit beeld betreft de feitelijke, actuele toestand van de situatie, maar belangrijker nog, het betreft de *toekomstige* toestand.

De toekomstige situatie kan uiteraard alleen *geschat* worden. Deze schatting is voor een groot deel gebaseerd op een *extrapolatie* van de feitelijke situatie op het moment, in combinatie met de gebeurtenissen uit het recente verleden; bij deze extrapolatie wordt gebruik gemaakt van de *ervaring* die de bestuurder heeft opgedaan in vergelijkbare situaties. Een *oordeel* over de situatie vormt dus een onderdeel van het proces. De uit de extrapolatie afgeleide verwachte, toekomstige situatie wordt het *verwachtingspatroon* ge-

noemd. Het verwachtingspatroon is dus een beeld van de nabije toekomst dat is gebaseerd op twee dingen: de gebeurtenissen uit het recente verleden, en de ervaring die uit het geheugen worden afgeleid. Wanneer we hier spreken van het 'nabije verleden' gaat het meestal om seconden en ten hoogste om minuten.

### B. Zoekgedrag

Ook over het zoekgedrag is in par. 3.3.1.6 reeds het een en ander gezegd. Hier gaan we in op het belang ervan voor de waarnemingsverwerking. Op basis van het verwachtingspatroon worden ook bepaalde visuele elementen verwacht. Een bekend voorbeeld: ziet men een bal de weg op rollen, dan mag men 'verwachten' dat er een kind achteraan zal hollen. Weet men dit, of mag men dit op basis van de ervaring verwachten, dan kan men bewust naar dit element (dit kind) gaan *zoeken*. Door het zoeken wordt de waarnemer ineens in een actieve rol geplaatst; in plaats van passief af te wachten welke informatie bij de waarnemer terecht komt ('toevallig' of niet), wordt er nu gezocht. Daarbij kunnen verschillende *zoekstrategieën* aan de orde komen (*heuristieken*).

### C. Vooruitzien

De term 'zichtruimte' wordt hier gebruikt om de mate aan te geven waarin 'vooruit' kan worden gezien; het kan daarbij gaan om de gewenste (of vereiste) zichtruimte, maar ook om de beschikbare zichtruimte. Soms wordt hiervoor de uit het Engels afkomstige term 'preview' gebruikt. Dit kan tot misverstand aanleiding geven, omdat in de strikte, technische betekenis zoals die in de regeltheorie en de stuurkunde wordt gebruikt, de preview als de directe inputgrootte geldt bij een bepaald type van stuurstrategie. In het Nederlands kan dus de term 'zichtruimte' worden gebruikt; in het Engels is er echter geen alternatief voor de term 'preview' wanneer men het algemenere begrip wil hanteren. Dit is het geval bij de aparte notitie, waarin is aangegeven wat de zichtruimte moet zijn voor verschillende manoeuvres op verschillende wegtypen (Schreuder, 1991). Onder de zichtruimte wordt hier verstaan de afstand (uitgedrukt in tijd of in lengte) waarop een voorwerp (of een groep van voorwerpen) gezien moet kunnen worden om de betreffende, door het voorwerp noodzakelijk geworden manoeuvre, nog op een redelijke mate uit te voeren. In redelijke mate betekent daarbij: zonder zichzelf of het overige verkeer in gevaar te brengen, en zonder ernstige overlast te ondervinden of te veroorzaken.

Zoals we hierboven hebben aangegeven, is de functie van de openbare verlichting: het mogelijk maken dat het verkeer op een vlotte en veilige manier kan worden afgewikkeld. De functies zijn gebaseerd op de uit de *verkeerstaak* af te leiden *rijtaak*. De rijtaak bestaat, zoals in par. 3.3.1.3 aangegeven, uit het nemen van de juiste beslissingen op basis van de uit de omgeving afkomstige (vooral visuele) informatie, het vergelijken van deze externe informatie met de interne informatie (die in hoofdzaak uit het geheugen afkomstig is), en ten slotte uit het correct uitvoeren van deze beslissing. En dit alles moet niet alleen op de 'juiste' en de 'correcte' wijze gebeuren; ook dient het 'tijdig' te gebeuren, en wel bij voorkeur zo tijdig dan herstelmanoeuvres nog mogelijk zijn. Dit laatste punt leidt tot vragen betreffende de (vereiste) zichtruimte.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, is het nodig in wat meer detail te bekijken wat de verkeerstaak inhoudt. De verkeerstaak houdt in laatste instantie in het *veilig, vlot*, en bij voorkeur *comfortabel* bereiken van de bestemming (en dit met minimale kosten) (zie Schreuder, 1974; 1988a). De vlotheid en het comfort kunnen worden samengevat in een

apart *taakaspect*: we hebben hierboven (in par. 3.3.1.3) gesproken van Taak I en Taak II (zie Schreuder, 1985a). De veiligheid heeft twee deelaspecten: het vermijden van *verwachte* en het vermijden van *onverwachte* objecten die botsingsgevaar opleveren.

We noemden reeds enige belangrijke verschillen tussen 'gewone' manoeuvres en 'nood'-manoeuvres. Er zijn nog twee verschillen aan te geven.

Het eerste verschil is gelegen in de toelaatbare (resp. de noodzakelijke) remvertraging. Bij een gewone manoeuvre moet rekening worden gehouden met het overige verkeer, en tot zekere hoogte met comfort-aspecten; een remvertraging van meer dan 2,5 à 3 m/s<sup>2</sup> (bij snelheden boven ca. 30 km/uur) is niet acceptabel. Bij een noodmanoeuvre mag echter een hogere remvertraging worden toegelaten; als praktisch maximum neemt men gewoonlijk 5 m/s<sup>2</sup>, de minimale eis voor een personenauto om aan het verkeer te mogen deelnemen. Met een goede auto, met goede banden en op een goed wegdek is deze waarde ook bij vochtig weer meestal redelijk goed te bereiken. Met comfortabel rijden is deze waarde echter niet te rijmen. Over de eisen die aan de remvertraging moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1981) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarden zijn ontleend.

Het tweede verschil tussen 'gewone' manoeuvres en 'nood'-manoeuvres is het feit dat een gewone manoeuvre steeds in het verwachtingspatroon past, en een noodmanoeuvre nooit. Dit volgt zonder meer uit de definitie van deze twee soorten manoeuvres. Het gevolg is dat men voor een noodmanoeuvre een langere reactietijd moet nemen dan voor een gewone manoeuvre. De bekende 'schrikseconde' is waarschijnlijk aan de korte kant; bij de beschouwingen over de eisen die aan openbare verlichting moeten worden gesteld is uitgaan van een reactietijd van 3 seconden. Ook over de eisen die aan de minimale reactietijd moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1991) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarde van 3 seconden is ontleend.

In Tabel 10 zijn de waarden van de vereiste zichtruimte gegeven voor wegen buiten de bebouwde kom, waarbij de feitelijke (nominale) snelheid is gesteld op 25 m/s (ongeveer 90 km/uur). Zie voor details Schreuder (1992a). Deze minimaal noodzakelijke waarden van de zichtruimte zijn uit theoretische overwegingen afgeleid.

Uit deze tabel blijkt dat voor de hierboven genoemde manoeuvres (voor 90 km/uur) de volgende minimale waarden van de zichtruimte genomen moeten worden:

- dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook:	75 meter
- snelheid kiezen:	75 meter
- stoppen voor discontinuïteit:	175 meter
- nemen van een bocht:	375 meter
- noodmanoeuvre: uitwijken:	125 meter
- idem: noodstop:	140 meter

Er zij hier gewezen op het verschil dat er bestaat tussen de waarden zoals die hierboven (en in Tabel 10) zijn gegeven, en de waarden die men in de populaire literatuur kan tegenkomen. De hier gegeven waarden zijn groter, en vaak aanzienlijk groter. Het verschil zit in hoofdzaak in de meer realistische aannamen over de 'reactietijd' en over de

remvertraging die hier zijn gehanteerd. De praktijk wijst uit dat in mist, wanneer de zichtruimte inderdaad kleiner is dan de hier gegeven waarden, soms ongevallen gebeuren die met de 'populaire' waarden niet te begrijpen zijn. Daarom is op een andere plaats de suggestie gedaan om met name voor het vermijden van ernstige mistongevallen naar de hier genoemde realistische waarden te kijken, en deze ook op te nemen in de voorlichting (Schreuder, 1991a). Voorts moet men een duidelijk onderscheid aanbrengen tussen de zichtruimte bij mist en de zichtruimte bij verlichting door dimlichten. Ofschoon de ruimte waarin alle details goed te zien zijn, ongeveer even groot kan zijn (zeg maar als voorbeeld ca. 50 meter) is de 'echte' zichtruimte bij het rijden met dimlicht groter: signaallichten, retroreflectoren enz. kunnen vaak op aanzienlijk grotere afstand worden ontwaard. Naar aanleiding van een aantal ernstige ongevallen bij mist is recentelijk veel onderzoek uitgevoerd naar verkeer bij mist.

Uit Tabel 10 blijkt voorts dat het vooral de wegmarkeringen zijn die als visueel kritische elementen kunnen optreden. Dit geldt met name voor de manoeuvres 'kiezen dwarspositie' en 'kiezen snelheid'. De vereiste zichtruimte is daarbij (voor 90 km/uur) 75 meter. Bij de manoeuvre 'stoppen voor discontinuïteiten' is de minimaal vereiste zichtruimte (ook voor 90 km/uur) ca. 175 meter. Voor afstanden van deze grootte-orde zijn wegmarkeringen, maar ook kleine, diffuus reflecterende, stationaire objecten (zie par. 3.3.1.8) niet van groot belang; wanneer er gestopt moet worden, dienen er andere objecten aanwezig te zijn die de noodzaak om te stoppen duidelijk maken. Omgekeerd is het natuurlijk ook niet *nodig* om te stoppen voor een wegmarkering of voor een doosje van 20 cm!

We vermelden hier in het voorbijgaan het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven (1980) en van Padmos (1981, 1988) betreffende de visuele elementen die voor het wegverkeer van belang zijn. In die studies komen andere aspecten van het rijgedrag aan de orde, zodat we ze hier niet verder bespreken. Op een andere plaats komen we terug op deze studies (par. 3.3.1.8).

Ook verkeerstekens, waarschuwingstekens en -lichten en verkeerslichten kunnen een bijdrage leveren tot de preview. De bijdrage wordt echter soms overschat:

- verkeerstekens brengen gecodeerde informatie over;
- in sommige gevallen wordt bij verkeerslichten het risico voor ongevallen groter, ook al zijn ze op papier als verkeersveiligheidsmaatregel bedoeld;
- waarschuwingslichten zijn a-specifiek; anderzijds zijn ze zeer opvallend, zodat ze alleen met mate dienen te worden gebruikt.

### 3.3.1.7. Het informatieproces

#### A. *Terugkoppeling*

Voor het hier te beschrijven proces van opname en verwerking van informatie is het begrip *terugkoppeling* van belang. Hiermee wordt bedoeld dat de output van het systeem van invloed is op de werking van het systeem, en daarmee (opnieuw) op de output. Terugkoppeling wordt onderscheiden in *meekoppeling* en *tegenkoppeling*. *Meekoppeling* is het verschijnsel waarbij de reactie wordt vergroot zodat de output steeds groter wordt. Het systeem raakt daarbij steeds verder van de evenwichtstoestand vandaan, en het verschijnsel stopt pas door ingrijpen van buitenaf (of door een catastrofe). *Meekoppelverschijnselen* zijn bekend in de economie. Onder *tegenkoppeling* wordt verstaan het ver-

schijnsel waarbij de reactie steeds gericht is in een richting die tegengesteld is aan de richting van de actie (output). Daarmee wordt het effect van de actie verkleind (of tegen- gewerkt). Op deze manier kan een systeem (een organisme) proberen een *evenwichtstoestand* vast te houden. Men spreekt daarbij wel van *homeostase*.

### B. *Risico en risicocompensatie*

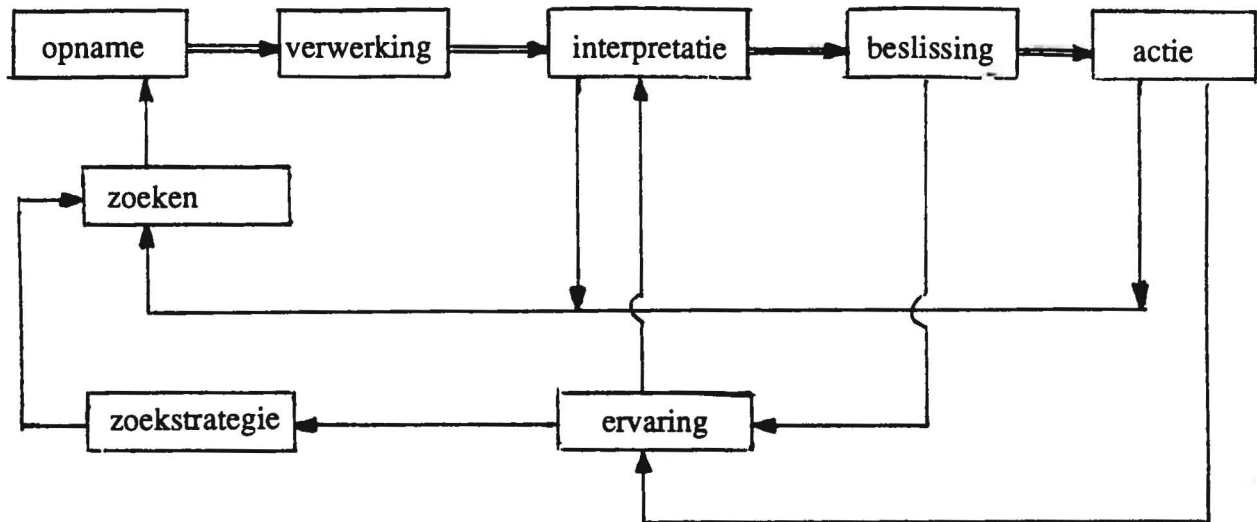
In de verkeerspsychologie heeft het begrip homeostase een bijzondere betekenis gekregen. In vele gevallen kan worden geconstateerd dat het aanbrengen of verschaffen van een verkeersveiligheidsmaatregel minder 'oplevert' dan in eerste instantie werd verwacht. Kennelijk wordt een gedeelte van de toegevoegde (extra) veiligheid die door de maatregel wordt verschaft, te niet gedaan door een wijziging van het gedrag. Dit is dus kennelijk een geval van *tegenkoppeling*. Deze gedachte is in theoretisch opzicht zeer in detail onderzocht; men spreekt daarbij van *risicocompensatie*. Een in redelijke mate compleet overzicht van de effecten van risicocompensatie in het verkeer is gegeven in een recent OECD-rapport (OECD, 1990). Dit rapport omvat het totale gebied van de verkeersveiligheid. Visuele aspecten, meer in het bijzonder die van openbare verlichting zijn slechts summier behandeld - misschien met het oog op de omvang van het rapport. Maar ook meer in het algemeen zijn er slechts weinig gegevens bekend over een mogelijke compensatie bij het aanbrengen van openbare verlichting. Uit de ongevallenstudies - die immers de compensatie mee in de resultaten betrekken - blijkt echter dat openbare verlichting een duidelijke positieve invloed heeft op de verkeersveiligheid, zodat een eventuele risicocompensatie bij de invloed op de openbare verlichting kennelijk klein is ten opzichte van de beperking van de ongevallen - openbare verlichting blijkt in de meeste gevallen een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel te zijn (zie verder Hoofdstuk 4).

Zoals gebruikelijk bij beschouwingen over risico, risiconemen en risicocompensatie wordt vrijwel uitsluitend de keuze van de rijnsnelheid als maatgevend beschouwd voor het risiconemend gedrag. Nu is de snelheid gemakkelijk te meten, maar het is de vraag of de snelheid wel een goede maat is voor dit gedragsaspect. De invloed van deze simplificatie (misschien wel een oversimplificatie) is in een andere studie besproken (Schreuder, 1991b).

Tenslotte nog een opmerking over de *risicohomeostase*. Sommige auteurs brengen de stelling naar voren dat in alle gevallen de verkeersdeelnemers hun gedrag zodanig aanpassen dat het uiteindelijke effect van verkeersveiligheidsmaatregelen precies nul is - precies te niet wordt gedaan door een corresponderende toename van het risiconemend gedrag (dus precies te niet wordt gedaan door de hogere snelheid). Ofschoon uit de statistische gegevens van ongevallen zonder meer duidelijk is dat dit onjuist is, wordt deze gedachte van tijd tot tijd weer naar voren gebracht. Ook bij kritische beschouwingen over het nut (vooral over de hoogte) van de openbare verlichting is dit argument vaak gebruikt. Op een andere plaats wordt gewezen op het nut van *kosten/baten-analyses* ten einde de verschillende aspecten (waarbij milieu-aspecten inbegrepen kunnen zijn) in hun onderling verband te bekijken.

### C. *Het proces*

Uit de hierboven genoemde elementen kan het volgende proces van opname en verwerking van informatie worden afgeleid.



Zoeken is een essentieel onderdeel van dit proces. Waarnemers zijn daarmee natuurlijk bekend bij activiteiten als verkeersdeelname, zelfs voor er van enige ervaring (als autobestuurder bijvoorbeeld) sprake is. Allengs, door het opdoen van ervaring, wordt de waarnemer 'beter' in het zoeken, maar ook kunnen bepaalde acties het zoeken naar bepaalde elementen nodig (wenselijk) maken. Er is dus sprake van een aantal verschillende, en te onderscheiden, 'feedback loops'.

#### D. Taferelen

Het beeld hoeft niet compleet te zijn. Uit fragmenten is een voor het doel (de keuze van de juiste manoeuvre) toereikende fractie op te bouwen. Dit globale beeld wordt het *tafereel* genoemd. Het tafereel is dus een 'momentopname'; het betreft de toestand zoals die zich op het moment van waarnemen aan de verkeersdeelnemer voordoet. Het tafereel kan worden gereconstrueerd uit de waarneming van een aantal afzonderlijke elementen: de *tafereelreconstructie*. De bedoelde elementen zijn, voor zover het om de visuele informatie gaat, *visuele elementen*. Een indruk over de toekomstige toestand kan alleen door extrapolatie van de huidige toestand naar de toekomst worden verkregen; daarvoor zijn dus, naast de actuele toestand, de momentane toestanden van het (recente) verleden nodig. Deze opeenvolging van taferelen vormen een *sequentie*.

Op een andere plaats (par. 3.3.1.1) hebben we in detail aangegeven dat de waarneming van de (visuele) elementen kan worden onderscheiden in de *detecteerbaarheid* (het 'kale' zien); de *opvallendheid* (de mate waarin het element wordt waargenomen in de praktische context, inclusief eventuele verstoringen) en de *herkenbaarheid* (het kunnen plaatsen van het element in de klasse van elementen waartoe het behoort).

De lengte die een sequentie ten minste moet hebben, hangt af van de uit te voeren manoeuvre. De lengte, naar de toekomst gerekend, wordt uitgedrukt in het vooruitzicht (vaak wordt hiervoor de term *preview* gebruikt, ofschoon deze term in de regelkunde een iets specifiekere betekenis heeft). Omdat de term *preview* in de hier gebezigde context tame-



lijk gebruikelijk is, zullen we de term hier blijven gebruiken, tenzij er gevaar voor misverstand bestaat.

De preview wordt uitgedrukt in eenheden van tijd of lengte; bij een bekende verplaatsingssnelheid zijn deze twee uiteraard gelijkwaardig. Voor de manoeuvres die voor het verkeersgedrag het meeste relevant zijn, is de vereiste preview tamelijk verschillend. Voor de manoeevredelen en de elementaire manoeuvres (niveaus d en e) is een preview van ca. 3 seconden meestal ruim voldoende; voor de complexe manoeuvres wordt meestal een minimaal noodzakelijke preview van enige tientallen seconden. aangehouden en voor de 'hogere' niveaus soms zelfs minuten of uren. Bij de laatste kan het uiteraard niet gaan om *in situ* te verkrijgen visuele informatie; de term preview verliest daarbij veel van haar betekenis. We zullen ons hier concentreren op de 'eigenlijke' manoeuvres.

#### E. *Sequenties*

Globaal kan men stellen dat voor een redelijke extrapolatie naar de toekomst over een bepaalde tijdspanne, over een even lange tijdspanne in het verleden de gegevens ter beschikking moeten staan. Dit betekent dat de sequenties tenminste ca. 3 seconden dienen te omvatten. Om na te gaan hoeveel (visuele) informatie in deze tijd verzameld en 'vastgelegd' kan worden, zullen we uitgaan van een aantal vuistregels die uit de waarnemingspsychologie bekend zijn.

In de praktijk kunnen - over een langere tijd vol te houden - twee à drie fixaties per seconde worden uitgevoerd; per fixatie kunnen ongeveer drie tot zes elementen worden waargenomen. We zullen verderop aangeven wat deze 'elementen' zijn. Deze drie à zes elementen moeten dus genoeg zijn voor de reconstructie van het bijbehorende tafereel; de sequentie kan dus worden gebaseerd op  $(drie) * (twee \text{ à } drie) * (drie \text{ à } zes) = 18 \text{ à } 54$  elementen (De zaak wordt iets gecompliceerd door het feit dat de waarneming 'voortschrijdend' is: steeds wordt het meest recente tafereel aan de sequentie toegevoegd terwijl het oudste eraf valt. We zullen hier niet ingaan op deze complicatie, en wel omdat daarover niets bekend is).

Het is overduidelijk dat de 18 à 54 elementen die kunnen worden waargenomen in ongeveer drie seconden een zeer klein deel vormen van alle elementen die mogelijk zouden kunnen worden waargenomen. Blijkbaar is er een geweldige redundantie in het aanbod van visuele informatie: immers, het blijkt zeer wel mogelijk te zijn om aan het verkeer deel te nemen aan de hand van deze 18 à 54 elementen per drie seconden. Maar wel betekent het dat het van het grootste belang is de *juiste* visuele elementen voor waarneming te selecteren, en deze elementen in de juiste volgorde van belangrijkheid te groeperen; de *visuele selectie* en de *waarnemingsprioriteiten*.

In par. 7.2.3 is een schematische aanzet gegeven voor een onderzoek aangaande verschillende aspecten van de waarneembaarheid in het verkeer.

#### 3.3.1.8. Verkeersrelevante objecten

##### A. *Risicodragende elementen*

Uit de veelheid van visuele elementen kan men een aantal elementen aanwijzen die essentieel zijn voor het reconstrueren van de tafereelen. In de Tabel 9 zijn een aantal 'voor-

werpen' opgesomd, waarvan mag worden aangenomen dat het belangrijk is dat de weggebruiker-automobilist-waarnemer ze (tijdig en juist) kan waarnemen. Deze voorwerpen worden de *visueel kritische elementen* genoemd; dit in tegenstelling tot de voorwerpen die *gevaar* (kunnen) opleveren. Deze gevaarlijke voorwerpen worden de *risicodragende elementen* genoemd. Ook hier moet weer onderscheid worden gemaakt tussen de twee taakaspecten (Taak I en Taak II; zie par. 3.3.1.3).

Voor Taak I gaat het om drie groepen van voorwerpen die als visueel kritische elementen kunnen optreden:

- voorwerpen behorende tot het wegmeubilair (lichtmasten, bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeerstekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten);
- voorwerpen behorende tot de weg zelf (wegmarkeringen);
- andere verkeersdeelnemers (met name voorliggers).

Voor Taak II gaat het om twee groepen van voorwerpen die als risicodragende elementen kunnen optreden:

- stationaire voorwerpen (obstakels; stilstaande auto's; stenen en dozen op de weg; verloren lading en verloren auto-onderdelen, maar ook lichtmasten, brugpijlers, bomen, gaten in de weg enz.);
- bewegende voorwerpen (verkeersdeelnemers, meer in het bijzonder kruisend verkeer, maar ook - vooral langzaam rijdende - voorliggers).

Op de weg komen deze risicodragende elementen uiteraard niet allemaal even vaak voor. De CBS-statistieken kunnen een aanduiding geven over het relatieve voorkomen van allerlei objecten en voorwerpen bij ongevallen. In Tabel 11 is een selectie gegeven uit de gedetailleerde CBS-gegevens over 1991 (CBS, 1992).

We wijzen hier nogmaals in het voorbijgaan op het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven (1980) en van Padmos (1981, 1988, 1991) betreffende de visuele elementen die voor het wegverkeer van belang zijn. In die studies gaat het om andere aspecten van het rijgedrag die meer met routekeuze en met het *gemak* van waarnemen te maken hebben dan met het ontwijken van kleine obstakels (zie ook Padmos & Walraven (1982). Verder op komen we op deze studies nog terug.

Het bovenstaande is algemeen geldig, d.w.z. geldt voor iedere wijze van deelname aan het verkeer. De visueel kritische elementen echter zijn zeer verschillend voor de verschillende wijzen van verkeersdeelname. In het hierna volgende zullen we in de eerste plaats aandacht besteden aan het als bestuurder van een motorvoertuig deelnemen aan het verkeer. Niet omdat deze wijze van verkeersdeelnemen het belangrijkste is, maar wel omdat dit zowel in absolute termen alsook relatief het meeste risico met zich brengt.

#### B. *Visueel kritische elementen*

Een essentiële maar tot nu toe nauwelijks beantwoorde vraag is: welke zijn nu eigenlijk de (visueel kritische) elementen die *risico* met zich brengen wanneer ze niet (niet tijdig, of niet op de juiste wijze) worden gezien? Onderzoek betreffende de ongevallen en de 'bijna-ongevallen' hebben enige indicaties gegeven, maar, zoals hierboven is aangegeven, de voor het verkeer gevaarlijke obstakels vormen slechts één van de categorieën van de visueel kritische elementen (Padmos, 1984; Padmos & Walraven, 1982; Walraven, 1980).

Conflictstudies zijn meestal veel te specifiek toegespitst op bepaalde situaties of maatregelen om resultaten op te kunnen leveren die voor het onderhavige onderwerp voldoende algemeen zijn.

Aan de hand van de overwegingen die we hierboven hebben weergegeven is het mogelijk om in twee opzichten een onderscheid te maken tussen de visueel kritische elementen die voor waarneming in aanmerking komen:

- de waarnemer weet al-dan-niet om welk element het gaat;
- er wordt al-dan-niet naar gezocht.

Combinatie leidt tot vier mogelijkheden, volgens onderstaand schema:

---

		weten	
		ja	nee
zoeken	ja	A	B
	nee	C	D

---

De vier mogelijkheden sluiten als volgt aan op de eerdere indeling in manoeuvres: de gevallen A en B corresponderen met *stuurmanoeuvres*, terwijl C en D corresponderen met de *ontwijkmanoeuvres*. Daarbij kan in geval C van ervaring gebruik worden gemaakt, terwijl die in geval D niet aanwezig is.

Wanneer men zich afvraagt hoe deze verschillende elementen moeten worden verlicht zodat de waarneming ervan kan worden gewaarborgd, dient men te bedenken dat het in deze vier gevallen *fysiek* om het zelfde voorwerp kan gaan. De waarnemingscondities, maar vooral ook de *eisen van waarneming* zijn echter in de vier gevallen verschillend. Experimenteel kan men hiermee rekening houden door het invoeren van verschillende *veldfactoren*. Over deze veldfactoren gaat het hierna te beschrijven onderzoek.

### C. De situering van visueel kritische elementen

Hieronder zullen enige aspecten van de verkeersomgeving worden genoemd die als visueel kritisch element kunnen worden beschouwd. Deze opsomming geldt allereerst de 'eigenlijke' manoeuvres, omdat de aspecten die met de 'hogere' beslissingen samenhangen, minder direct van belang zijn voor de verkeersveiligheid. Deze 'eigenlijke' manoeuvres zijn:

- het handhaven van de dwarspositie (binnen de rijstrook, zowel op rechte weggedeelten als in bochten);
- het handhaven van de langpositie (meestal is dat de afstand tot de voorligger; bij een vrije weg kan dit inhouden het handhaven van de vooraf gekozen snelheid);
- het uitvoeren van uitwijkmanoeuvres (remmen, ontwijken enz.).

Tot de manoeuvres die horen bij de 'hogere' beslissingen horen het aanpassen van de snelheid, het stoppen, het verlenen van voorrang enz., maar ook het kiezen en handhaven van de route.

Voor het handhaven van de langspositie komen als visueel kritische elementen allereerst in aanmerking: de wegmarkeringen, de wegbegrenzingsen en de bermmarkeringen. Voor het handhaven van de afstand tot de voorligger komen uiteraard deze voorliggers zelf het meeste in aanmerking, meer speciaal de markeringen op de voertuigen. Bij duisternis zijn dit vooral de lampen en de reflectoren. Voor de ontwijkmanoeuvres tenslotte gaat het om een meer gevarieerde verzameling: naast signalen (signaallichten) van voertuigen gaat het om voetgangers op of bij de rijbaan, fietsers en allerlei obstakels zoals stenen, dozen en gaten in de weg. Voor de manoeuvres die horen bij de 'hogere' beslissingen gaat het vaak om verkeersborden en verkeerstekens die veelal een gecodeerde boodschap bevatten. Wat betreft de verlichtingsaspecten - die in deze notitie centraal staan - vertonen deze voorwerpen vaak een zekere analogie met de signalen, zodat ze niet apart behandeld zullen worden.

Opgemerkt dient te worden dat deze voorwerpen, vooraleer ze als visueel kritische elementen kunnen gaan fungeren, eerst gedetecteerd en herkend moeten kunnen worden. Hierbij doet zich een op het eerste gezicht merkwaardig feit voor, namelijk dat een voorwerp eerst herkend moet worden alvorens het gedetecteerd kan worden. Deze conclusie volgt uit de simpele (simplistische) beschrijving over de visuele functies zoals die in par. 3.3.1.1 is gegeven. Men moet dus aannemen dat deze beschrijving op zijn minst onvolledig is. We gaan hier niet verder in op de moderne inzichten van de cognitieve psychologie, waar aanzetten te vinden zijn die deze schijnbare interne tegenspraak lijken te kunnen oplossen.

Voorts dient ook opgemerkt te worden dat de hier genoemde voorwerpen in het normale wegbeeld zeer frequent voorkomen; ze zijn dus lang niet altijd 'visueel kritisch', hetwelk extra aandacht vestigt op de noodzaak om de juiste prioriteiten in de waarneming te stellen.

#### *D. De waarneembaarheid van visueel kritische elementen*

De visueel kritische elementen moeten niet alleen waarneembaar zijn, het is ook nodig dat er een aanzienlijke zekerheid bestaat dat ze ook inderdaad zullen worden waargenomen. De kans op een ongeval bij het 'missen' van een enkel visueel kritisch element is natuurlijk niet even groot voor alle elementen: het is minder erg om een markeringsstreep te missen dan een voetganger op de rijbaan. Dit heeft te maken met de volgende aspecten:

- is het element zelf een risicodragend object of (alleen maar) een signaal?
- staat het element op zichzelf of is het er één van een rij (groep, verzameling)?
- leidt het conflict horend bij het 'missen' van het element direct tot een ernstig ongeval, of alleen maar tot een verstoring van het rijcomfort?
- wat zijn de mogelijkheden voor het voorkomen van een ongeval wanneer het element wordt gemist?

Aan de hand van deze opsomming zou een prioriteitenlijst van visueel kritische elementen kunnen worden opgesteld in termen van de aandacht die ze moeten krijgen om de

waarneembaarheid ervan te waarborgen. Bij de huidige stand van de (wetenschappelijke) kennis is het echter niet mogelijk om een dergelijke lijst van prioriteiten op te stellen, omdat de kennis over de risico's voor (ernstige) ongevallen in relatie tot de visueel kritische elementen ontbreekt. Derhalve zullen de genoemde elementen als 'even belangrijk' worden beschouwd.

Het is in beginsel vrij eenvoudig om de waarneembaarheid van voorwerpen die met het vooropgezette doel om te dienen als visueel kritische elementen zijn aangebracht, te waarborgen. De detecteerbaarheid gehoorzaamt aan tamelijk eenvoudige, goed bekende wetmatigheden, die vooral het (luminantie-)contrast tussen het voorwerp en zijn directe achtergrond betreffen, of de absolute lichtsterkte wanneer het om kleine zelf lichtgevendende voorwerpen (signaallampen) gaat. Het waarborgen van de opvallendheid is vooral een zaak van het zorgen voor een voldoende grote bovendrempeligheid, met name in relatie tot naburige bronnen van (visuele) storing. Ook hiervoor bestaan regels - zij het minder goed onderbouwde vuistregels. Het waarborgen van de herkenbaarheid tenslotte is, naast het waarborgen van de opvallendheid, vooral een kwestie van opleiding, training en voorlichting: alleen voorwerpen die goed bekend zijn, kunnen worden herkend. Veelal drukt men de herkenbaarheid uit in de leesbaarheid - ofschoon die twee kenmerken bepaald niet samenvallen. Deze term wijst meteen op een mogelijk probleem, vooral in een land als Nederland met een aanzienlijk aandeel van verkeersdeelnemers die het Nederlands niet of nauwelijks machtig zijn. We zullen hier niet op deze moeilijkheden ingaan, maar alleen vermelden dat in dit opzicht pictogrammen een voordeel hebben boven woorden voor het overbrengen van gecodeerde informatie (Schreuder, 1992a).

Moeilijker is het om de waarneembaarheid van voorwerpen te waarborgen die niet met opzet als visueel kritische elementen zijn aangebracht. Uiteraard betreft dit in de eerste plaats de andere verkeersdeelnemers; wanneer men denkt aan de waarneembaarheid vanuit het gezichtspunt van een bestuurder van een motorvoertuig, dan gaat het niet in de eerste plaats om de andere motorvoertuigen - die immers van signalen en markeringen zijn voorzien - maar om de fietsers en de voetgangers. Niet alleen zijn dat de 'zwakkere' verkeersdeelnemers, die alleen al door het ontbreken van een beschermend koetswerk extra kwetsbaar zijn, maar ook minder mogelijkheden hebben om markeringen en signaallampen mee te voeren. Het vermijden van botsingen met deze 'zwakkere' verkeersdeelnemers is dus in de eerste plaats een taak voor de bestuurders van de motorvoertuigen. Verder moet men hierbij ook rekenen de gevaarlijke verkeersobstakels zoals stenen, uitlaatpijpen en gaten in de weg, en ook de algemene kenmerken van landschap, wegverloop en omgeving die van belang zijn bij het verschaffen en ondersteunen van meer in het bijzonder het driedimensionale karakter van de taferelen. Soms is het mogelijk de betreffende voorwerpen van markeringen (meer in het bijzonder retroreflecterende markeringen) te voorzien, maar meestal dient men te volstaan met de constatering dat deze voorwerpen overdag gewoonlijk 'vanzelf' zichtbaar zijn en 'voor zichzelf' spreken. Bij duisternis moet men zulks zien te bereiken door een algemene verlichting te installeren die, net als het daglicht, een alzijdig verlichtend karakter heeft. Hiermee kan tot zekere hoogte aan de wensen wat betreft de detecteerbaarheid en de opvallendheid worden voldaan - tot zekere hoogte, en zeker niet altijd op een geheel bevredigende manier. Wat betreft de herkenbaarheid geldt hetzelfde als hierboven is gezegd: het is vooral een zaak van opleiding, training en voorlichting om ervoor te zorgen dat de voorwerpen bekend zijn zodat ze in het voorkomende geval herkend kunnen worden. Daarbij moet worden

opgemerkt dat de mogelijkheid tot herkennen sterk aan de situatie is gebonden; voorwerpen die zeer goed bekend zijn worden toch vaak slecht herkend wanneer ze in een context worden aangeboden waarin ze onverwacht zijn.

#### E. Botsobstakels

Ruim twee-derde van de ongevallen hebben te maken met botsingen tussen voertuigen die aan het verkeer deelnemen; het grootste deel daarvan betreft bewegende voertuigen (zie Tabel 11). Ongeveer 10% betreft voetgangers, terwijl ruim 20% te maken heeft met stilstaande obstakels (bomen, lichtmasten) en met 'eenzijdige' ongevallen (van de weg raken na slippen enz.). Deze getallen gelden voor de letselongevallen en voor 1991; aangenomen mag worden dat voor alle ongevallen een vergelijkbare verdeling geldt. Als conclusie geldt:

- botsingen tussen voertuigen overheersen;
- botsingen met allerlei (vaste) obstakels komen vrij veel voor;
- ongevallen met voetgangers zijn verre van zeldzaam;
- ongevallen met 'losse' voorwerpen kunnen worden verwaarloosd.

Nauwelijks een half procent betreft de obstakels die in de verlichtingskunde als 'standaardobject' zijn ingevoerd. Verlichting is functioneel. Dat wil zeggen dat verlichting 'iets' moet verlichten; de te verlichten objecten zijn de verkeerskundige standaardobjecten. Nu zijn deze standaardobjecten vaak niet precies te definiëren; daarom stelt men vaak de *visuele standaardobjecten* in de plaats. Wanneer men de eisen die aan de verlichting van wegen moet worden gesteld wil bepalen, wordt ervan uitgegaan dat de verkeerskundige standaardobjecten zichtbaar zullen zijn (in alle relevante omstandigheden) wanneer de waarneembaarheid van de visuele standaardobjecten (onder die omstandigheden) is gewaarborgd. De visuele standaardobjecten zijn uiteraard niet identiek met de verkeerskundige standaardobjecten, maar ze moeten er wel veel op lijken, met name wat betreft afmetingen, reflectie-eigenschappen, locatie en bewegingstoestand.

#### F. De keuze van een standaardobject

Al met al mag worden betwijfeld of de keuze van het traditionele 'standaardobject' van 20 bij 20 cm op 100 meter afstand, en met een (diffuse) reflectie van 20%, een goede keuze is. Dit 'standaardobject' is in het verleden ingevoerd door Dunbar (1938) en De Boer (1951), en voor tunnels aangepast door Adrian (1978; 1989). Het wijkt echter in alle opzichten sterk af van de risicodragende objecten die in het verkeer te verwachten zijn. Feitelijk levert het traditionele standaardobject alleen een aanduiding op voor de te bereiken gezichtsscherpte; de verdere fysiologische en psychologische aspecten van de waarneming komen niet aan de orde. Dit is reeds door Griep (1968) opgemerkt.

Ondanks deze kritiek, die later is herhaald door Padmos (1982) en Schreuder (1989, 1990, 1991, 1991c, 1992a), vindt het traditionele standaardobject nog steeds opgang in de openbare verlichting. Zo gebruikt Blaser (1990) het bij de beschouwingen over tegenstraalverlichting in tunnels (zie ook Blaser & Dudli, 1982). Voor een verdere discussie over de voor- en nadelen van tegenstraalverlichting zij verwezen naar Schreuder (1992a) en naar par. 3.4.2.3.

Het is een van de belangrijkste, misschien wel het meest belangrijke, onderwerp voor nadere studie en onderzoek om eens en voor al vast te stellen wat het verkeersrelevante

object is (of wat de verkeersrelevante objecten zijn). We komen later terug op deze vraag, en meer in het bijzonder in par. 7.2.3.

### **3.4. De techniek van de openbare verlichting**

#### *3.4.1. De rol van kunstmatige verlichting*

##### **3.4.1.1. Openbare verlichting en voertuigverlichting**

Overdag wordt de waarneembaarheid van visueel kritische elementen gewoonlijk gewaarborgd door een combinatie van het alzijdig invallende daglicht en de opzettelijk aangebrachte markeringen en signalen. Bij duisternis is het merendeel van de kenmerken onzichtbaar, zodat een kunstmatige verlichting moet worden aangebracht. Deze verlichting kan op twee wijzen plaatsvinden: de verlichtingsmiddelen kunnen aan of bij de weg worden aangebracht (openbare of straatverlichting); ook kunnen de verlichtingsmiddelen aan de voertuigen bevestigd worden (voertuig - of automobiilverlichting). De eerste geeft aanzienlijk meer mogelijkheden om de waarneembaarheid van visueel kritische elementen te waarborgen dan de tweede; daar staat tegenover dat deze soort van verlichting gepaard gaat met aanzienlijke kosten van aanleg en bedrijf - kosten die bovendien ten laste komen van de wegbeheerder. De tweede, de voertuigverlichting, is alleen toepasbaar voor voertuigen die over een aanzienlijk motorvermogen beschikken, en komt voor fietsen nauwelijks en voor voetgangers helemaal niet in aanmerking. Bovendien is het niet mogelijk om de weg over een aanzienlijk stuk voor het voertuig uit op een behoorlijke wijze te verlichten - zeker niet wanneer rekening wordt gehouden met de mogelijkheid dat eventuele tegenliggers worden verblind. Aan de andere kant is deze verlichting tamelijk goedkoop, terwijl de kosten door de weggebruikers worden gedragen.

De openbare verlichting heeft kenmerken die veel lijken op die van het daglicht: de verlichting valt vrijwel alzijdig in, zodat voorwerpen vooral waarneembaar worden door het contrast met hun directe achtergrond. Dit contrast wordt bepaald door de verlichtingssterkten op de oppervlakken en door de (diffuse) reflectiecoëfficiënten van object en achtergrond. Omdat kleurverschillen meestal slechts een ondergeschikte rol spelen in het verkeer, hoeft bij de bepaling van het contrast alleen met het luminantiecontrast rekening te worden gehouden; het eventuele kleurcontrast kan meestal worden verwaarloosd. Een uitzondering vormt het wegdek met alles wat erop is aangebracht (met name wegmarkeringen) in geval van regen: natte wegen hebben een sterk spiegelende reflectie waardoor de herkenbaarheid van vele voorwerpen - met name van de wegmarkeringen - sterk te lijden heeft. Overigens bestaan er speciale maatregelen en constructiemethoden (poreus asfalt; geprofileerde wegmarkeringen) waarmee dit gevaar afdoende kan worden bezworen.

De waarneembaarheid van het overgrote deel van de voor het verkeer van belang zijnde visueel kritische elementen is afdoende gewaarborgd wanneer aan de relevante lichttechnische eisen is voldaan. Voor zelf lichtgevende of retroreflecterende elementen (signaallichten en markeringen) gelden de door de Commission Internationale de l'Eclairage in samenwerking met de internationale regelgevende instanties (EG, ECE, ISO) uitgebrachte eisenpakketten. Deze eisen betreffen de intensiteit, resp. de retroreflectiecoëfficiënt, de kleur, de afmetingen, de vorm en de locatie van signaallichten en markeringen.

Wat betreft de openbare verlichting gelden de door de CIE gestelde eisen. Deze eisen betreffen het gemiddelde niveau van de wegdekkluminantie, de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon en de verblinding.

Bij dit alles moet echter worden bedacht dat ook onder 'ideale' zichtomstandigheden bepaalde visueel kritische elementen onzichtbaar blijven, of tenminste niet worden gezien. Het is niet bekend in hoeverre hier sprake kan zijn van tekorten in de waarneembaarheid zelf of eerder tekorten in de aandacht van de verkeersdeelnemers. Het betekent wel dat ook onder overigens 'ideale' zichtomstandigheden nog verkeersongevallen plaatsvinden die rechtstreeks met de visuele input te maken hebben.

Anders is het bij wegen zonder openbare verlichting. Reeds is aangegeven dat men zich dan moet behelpen met de door de vervoermiddelen meegevoerde verlichting. Voetgangers voeren meestal geen licht, en ook retroreflecterende materialen worden niet op grote schaal meegevoerd. Fietsen kunnen licht voeren, maar dat licht kan, gezien het beschikbare elektrische vermogen, slecht zwak zijn, zodat het voor het 'zelf' verlichten van de weg vooruit nauwelijks voldoende is - ofschoon de nieuwe halogeenlampen dit aanmerkelijk hebben verbeterd. Wel worden op grote schaal retroreflecterende materialen meegevoerd. Auto's, motoren en tot zekere hoogte ook bromfietsen zijn nauwelijks beperkt in het voor de verlichting beschikbare vermogen. Toch zijn de mogelijkheden voor een behoorlijke verlichting op korte afstand voor het voertuig slechts beperkt, en op grote afstand onmogelijk. Dit heeft te maken met de geometrie van het voertuig op de weg, en daarmee samenhangend met de noodzaak om het verblinden van eventuele tegenliggers voor zover mogelijk te beperken. Zowel de theorie alsook de praktijk leert dat lang niet alle visueel kritische elementen met behulp van voertuigverlichting waarneembaar kunnen worden gemaakt: het ongevalrisico op onverlichte wegen is vele malen hoger dan het risico op dezelfde wegen overdag - vooral voor fietsers en voetgangers. Wanneer voorts de weg nat is, wordt de waarneembaarheid - zoals hierboven reeds is aangegeven - nog extra gereduceerd. Ook is reeds gewezen op het belang van poreus asfalt en van geprofileerde wegmarkeringen.

#### 3.4.1.2. Verkeersaspecten

Het huidige maatschappelijke bestel is zeer gecompliceerd. Vooral door het in ruimtelijke zin vaak ver uiteen liggen van plaatsen waar de produktie en de consumptie plaats vinden, is er een grote stroom van vervoer van goederen ontstaan. Verder is er sprake van een decentralisatie van het wonen en tegelijk een concentratie van het werken. Dit levert een grote stroom op van 'woon-werkverkeer'. En tenslotte is er het recreatieverkeer. Verreweg het grootste deel van dit verkeer speelt zich op de weg af. Andere verkeerswijzen (rail, water en lucht) leveren slechts een geringe, en in vele opzichten verwaarloosbare, bijdrage tot het geheel. Het wegverkeer bestaat wat betreft het aantal voertuigen, de voertuigkilometers en de reizigerkilometers voor het grootste deel uit de particuliere personenauto's; wat betreft de massa (het tonnage) van de vervoerde goederen zijn uiteraard de vrachtauto's van belang. In par. 2.1 zijn enige gegevens dienaangaande gepresenteerd, alsmede de gedachten over de toekomstige ontwikkelingen daarin.

Het verkeer heeft verkeersvoorzieningen nodig. Deze voorzieningen zijn van verschillende aard: de wegen met alle erbij behorende hulpmiddelen - waartoe onder meer de open-



bare verlichting behoort; de voertuigen (vooral de auto's), met de daarbij behorende hulpmiddelen, en de verkeershulpmiddelen nodig voor de afwikkeling van het verkeer.

### 3.4.2. *Adaptatietoestand*

#### 3.4.2.1. De gemiddelde wegdeklluminantie

Openbare verlichting dient voor het zichtbaar maken van die objecten die zichtbaar moeten zijn, Verderop gaan we dieper op deze materie in. Hier bespreken we kort de aan de orde komende techniek.

De waarneembaarheid van een object hangt in beginsel van drie dingen af:

- de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz);
- het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
- de adaptatietoestand (de 'gevoelheidsinstelling' van het visuele systeem).

De waarnemer is voor de verlichtingskundige een gegeven waarop hij geen invloed heeft. De objecten worden deels expres aangebracht (wegmarkeringen enz), en die zijn dus te beïnvloeden, maar ook zijn het deels 'toevalligheden' (uitlaatpijpen); ook die onttrekken zich aan de invloed van de verlichtingskundige. Wel is het contrast ervan te beïnvloeden; zie par. 3.4.2.3 waar we tegenstralende verlichting bespreken. De adaptatietoestand is echter direct te beïnvloeden door het luminantieniveau te kiezen. Deze twee hangen immers direct samen (Gregory, 1970; Le Grand, 1956; Schober, 1960; Schreuder, 1988b).

Dit levert dan meteen de belangrijkste karakteristiek van de wegverlichting op: het *gemiddelde niveau van de wegdeklluminantie*. Daarbij moet men bedenken dat de gemiddelde wegdeklluminantie gekozen is als *benadering* voor de adaptatietoestand. Wanneer men een perspectiefisch beeld van een verkeersweg maakt op de wijze zoals die zich voordoet aan een bestuurder van een motorvoertuig, is het duidelijk dat het wegdek een aanzienlijk deel, maar zeker niet het grootste deel van het gezichtsveld beslaat, zeker niet wanneer de bestuurder globaal gesproken recht vooruit kijkt - iets wat in het verkeer als de meest gebruikelijke kijkrichting kan gelden. In feite is deze richting ook als *standaardrichting* gedefinieerd, zij het dat de ogen één graad naar beneden gericht zijn. Deze hoek is van belang bij de hierna te bespreken meet- en rekensystemen voor openbare verlichting (par. 3.5). Er is echter nog een tweede reden om de gemiddelde wegdeklluminantie te beschouwen als het meest representatieve criterium voor de wegverlichting, namelijk het feit dat het wegdek een achtergrond kan vormen voor eventuele obstakels. Daarop komen we in de volgende paragraaf terug.

De gemiddelde wegdeklluminantie is gekozen als belangrijkste ingang voor aanbevelingen en richtlijnen voor openbare verlichting (CIE 1965, 1977, NSvV, 1957; 1974/75; 1977, 1990), vooral als belangrijkste grootte voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties voor wegen, uitsluitend of in hoofdzaak voor het (gemotoriseerde) snelverkeer (CIE, 1977; NSvV, 1990).

### 3.4.2.2. De revealing power

Bij het voorafgaande moet worden aangetekend dat de gemiddelde wegdeklluminantie natuurlijk niet meer is dan een *interveniërende variabele*: de kwaliteit van de wegverlichting als maatregel ter voorkoming van verkeersongevallen dient natuurlijk in een maat te worden uitgedrukt die rechtstreeks in verband kan worden gebracht met het aantal (of de ernst) van de ongevallen. In het verleden heeft men vaak gesteld dat voor deze maat de zgn. 'revealing power' kan worden gebruikt. Dit begrip is in de dertiger jaren ingevoerd door Waldram (1938) en door Knudsen (De Boer & Knudsen, 1963; Knudsen, 1968; zie ook Vermeulen & Knudsen, 1968 en De Boer (ed.), 1967) en Van Bommel (1978) verder is uitgewerkt. De revealing power wordt meestal gedefinieerd als het percentage voorwerpen dat nog te zien is (soms ook: nog duidelijk te zien is) wanneer voorwerpen van 30 cm vierkant op willekeurige plaatsten op de weg worden geplaatst, waarbij de (diffuse) reflectiefactor van de voorwerpen de statistische verdeling volgt van de kleding van voetgangers. Omdat bij de beschouwingen over de revealing power steeds uitgegaan is (en uitgegaan moet worden) van stationaire objecten, is men geleidelijk gaan inzien dat de revealing power toch niet zo geschikt is om als de bedoelde maat te worden gebruikt. Daarom beperkt men zich in Europa (en in de meeste andere landen van de wereld toch maar tot de gemiddelde wegdeklluminantie, ook al heeft deze maat zijn beperkingen. Zie verder Hautala & Simons (1991).

Recentelijk heeft men echter in Noord Amerika de draad van de revealing power weer opgepakt. De reden is dat men naar een systeem van meestralende verlichting over wil gaan, omdat men vermoedt dat op deze wijze de interferentie tussen voertuigverlichting en openbare verlichting tot een minimum kan worden beperkt (zie IES, 1988). De mogelijke interacties zijn behandeld in par. 3.4.1.1; de meestralende verlichting is besproken in par. 3.4.2.3. De tweede reden voor de belangstelling voor de revealing power is het beschikbaar zijn van PC's, waarmee de noodzakelijke berekeningen heel gemakkelijk en in zeer korte tijd kunnen worden uitgevoerd - een praktisch argument, maar niet een argument van fundamentele betekenis. Als maat voor de revealing power wordt gekozen het percentage zeer kleine objecten (10 cm) dat zichtbaar is; vandaar de aanduiding 'Small Target Visibility' (STV).

Een belangrijk voordeel van de STV-benadering is, dat er slechts een enkele kwaliteitsmaat nodig is. De waarneembaarheid van kleine objecten wordt immers mede beïnvloed door de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon en door de verblinding (de 'disability glare'). Deze twee invloeden kunnen zonder meer in de waarneembaarheid worden opgenomen. Volgens het CIE-systeem heeft men echter drie variabelen (drie criteria) nodig (zie ook par. 3.4.6).

Volgens de opvatting van velen is echter de relevantie van STV voor het wegverkeer gering of zelfs afwezig; het gaat om de waarneembaarheid van stationaire objecten vanuit een stationaire waarnemingspositie, terwijl de objecten zo klein zijn dat ze geen enkel gevaar voor het verkeer kunnen opleveren (CIE, 1992; Schreuder, 1992a).

De Noord-Amerikaanse IES heeft de voorstellen aangenomen; het Amerikaanse nationale instituut voor normalisatie echter niet, zodat ook in Noord Amerika momenteel de luminantie nog wordt gebruikt.

### 3.4.2.3. Symmetrische, tegenstralende en meestralende verlichting

Zoals in par. 3.4.2.1 is aangegeven is het gebruikelijk om in de openbare verlichting, tenminste voor verkeerswegen, de wegdekluminantie als het belangrijkste criterium voor de verlichtingskwaliteit te beschouwen. Hierop is de zgn. *luminantietechniek* gebaseerd (zie De Boer, 1951). De luminantietechniek is in detail beschreven door Schreuder (1964; 1967). Het grondbeginsel van de luminantietechniek is dat de waarneming van objecten op de weg wordt bepaald door de adaptatieluminantie en het contrast.

Nu kan men het licht dat uit de boven de weg gemonteerde armaturen treedt, en dat het wegdek treft, in beginsel op drie wijzen richten:

- tegen de rijrichting van het verkeer in gericht;
- met het verkeer meestralend;
- symmetrisch ten opzichte van de verkeersrichting stralend.

Men noemt deze drie verlichtingswijzen wel de 'tegenstralende verlichting', de 'meestralende verlichting' en de 'symmetrische verlichting'. De discussie over de voor- en nadelen van deze drie verlichtingswijzen wordt vooral gevoerd wanneer het om de verlichting van tunnels gaat. Een gedetailleerde studie is gegeven in Schreuder (1992a). Maar het punt is ook voor de straatverlichting van belang.

De meeste 'gewone' openbare verlichting is symmetrisch; immers in de meeste gevallen is het één en dezelfde verlichtingsinstallatie die het licht voor de twee tegengestelde verkeersrichtingen moet verschaffen. Maar in feite wordt ook de symmetrische openbare straatverlichting als 'tegenstralend' beschouwd. Dit komt omdat vrijwel alle wegdekken, ook in droge toestand, onder de bij wegverkeer gebruikelijke strijkende waarnemingsrichting een sterk spiegelende reflectie vertonen. 'Tegenstralend' is de luminantie (luminance yield) hoger, en vaak veel hoger, dan 'meestralend'. Tegenstraalverlichting leidt onder de gebruikelijke aannamen tot een hogere doeltreffendheid (effectiviteit) van de verlichting (Schreuder, 1967; 1992a).

Zoals in par. 3.4.2.2 is aangegeven, is de meestralende verlichting een nieuwe 'trend' in de openbare verlichting, vooral in de USA. De tegenstraalverlichting kan zich daarentegen verheugen in een grote belangstelling in de alpenlanden voor het verlichten van verkeerstunnels (zie bijv. Blaser, 1990; Schreuder, 1992a). Voor straatverlichting wordt tegenstraalverlichting nauwelijks toegepast, ofschoon de traditionele ('symmetrische') straatverlichting in feite in sterke mate van het tegenstraalprincipe gebruik maakt (zie De Boer (ed.), 1967; Schreuder, 1967).

Bij een onderlinge vergelijking van de drie genoemde verlichtingswijzen komen een aantal aspecten naar voren. In de meeste gevallen vertegenwoordigen de tegenstralende en de meestralende verlichting uiteraard de extremen, terwijl de symmetrische verlichting daartussen in ligt.

- Wanneer men van het spiegelende aandeel van de reflectie van het wegdek gebruik maakt, wordt bij gelijke horizontale verlichtingssterkte op het wegdek een hogere wegdekluminantie bereikt dan bij symmetrische verlichting; bij meestralende verlichting is de luminantie nog lager.

- Bij tegenstralende verlichting wordt de achterkant van eventuele objecten sterker, en de voorkant ervan zwakker verlicht, zodat de luminantie van de objecten lager wordt dan bij symmetrische of bij meestralende verlichting.
- Deze twee effecten te zamen leiden voor tegenstraalverlichting tot een hoger contrast tussen object en wegdek, en dus (meestal) tot een betere zichtbaarheid. dan voor de nader verlichtingswijzen. Mogelijk kan voor gelijke zichtbaarheid een lager lichtniveau worden geïnstalleerd.
- De visuele geleiding is bij tegenstralende en bij symmetrische verlichting beter dan bij meestralende verlichting, vooral door het feit dat de lichtbronnen zelf (beter) zichtbaar zijn.
- Bij tegenstralende en meestralende verlichting is de lichtverdeling kritischer dan bij symmetrische verlichting. Dit leidt meestal tot een lager armatuurrendement.
- Het luminantiepatroon op het wegdek is bij tegenstralende verlichting minder gelijkmatig dan bij de andere verlichtingswijzen.
- Bij tegenstraalverlichting is de verblinding gewoonlijk veel sterker dan bij symmetrische verlichting. Meestralende verlichting kan vrijwel 'verblindingsvrij' worden uitgevoerd. Er bestaat echter een duidelijke relatie tussen de verblinding en de optische geleiding.

Met twee aspecten is bij dit alles nog geen rekening gehouden.

De eerste is de vraag of de mate waarin verlichting bijdraagt tot de verkeersveiligheid kan worden uitgedrukt in de waarneembaarheid van objecten op de weg.

De tweede is de vraag of een verhoging van de doeltreffendheid ook gepaard gaat met een hogere doelmatigheid (efficiency).

Tenslotte noemen we een aantal publikaties waarin de tegenstraalverlichting op overzichtelijke wijze is beschreven. De belangrijkste zijn: Anon, 1974a; Blaser, 1990; CIE, 1984, 1990; Novellas, 1982; Schreuder, 1979, 1980, 1981, 1992a; Stolzenberg (1984); Waltherth (1976, 1977, 1978). De meeste publikaties betreffen tegenstraalverlichting in tunnels.

#### 3.4.2.4. Wegmarkeringen

Een punt dat aparte aandacht verdient is de waarneembaarheid van wegmarkeringen.

De waarneembaarheid van wegmarkeringen op de 'open weg' blijkt vooral bij duisternis problemen op te leveren op wegen zonder openbare verlichting, en dan speciaal bij nat wegdek (al dan niet bij regen). De markeringen worden onder die omstandigheden uitsluitend verlicht door autokoplantaarns - een extreme vorm van 'meestralende' verlichting. Om bij die verlichtingswijze de waarneembaarheid te waarborgen, worden retro-reflecterende elementen (glasparels, hoekspiegels, 'katte-ogen') in de wegmarkering verwerkt. Om de waarneembaarheid ook bij nat wegdek te waarborgen, worden de wegmarkeringen 'geprofileerd'. Op dit gebied bestaat zeer veel literatuur (zie ook par. 3.7.4). Overzichten zijn gegeven in Anon (1982, 1986, 1986a); Blaauw (1983); Blaauw & Padmos (1981); CIE (1983, 1987, 1988); Krause (1979, 1984); Meseberg, ed. (1990); Neis

(1985); Paulmann & Neis (1985); Schreuder (1978, 1980a, 1985d); Tooke & Hurst (1975).

### 3.4.3. *De verlichtingssterkte*

De in de voorafgaande paragraaf genoemde overwegingen zijn opgesteld voor bestuurders van motorvoertuigen, of, met andere woorden, ze gelden voor wegen met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie. In het verleden werd echter het lichtniveau ook voor verkeerswegen uitsluitend in de *gemiddelde horizontale verlichtingssterkte* op het wegdek uitgedrukt. Deze verlichtingssterkte heeft natuurlijk alleen maar een indirecte waarde voor de bepaling van de waarneembaarheid, omdat de luminanties alleen te bepalen zijn wanneer de reflectie van de betreffende voorwerpen bekend zijn. Het niveau van de verlichtingssterkte, en meer in het bijzonder de verdeling van het patroon van de verlichtingssterkte geeft soms een geheel verkeerd idee van de feitelijke verlichting; het is vaak onmogelijk om aan de hand van het patroon van de verlichtingssterkte zich er een beeld van te vormen hoe de weg er bij duisternis uitziet.

Voor wegen met uitsluitend of in hoofdzaak een verblijfsfunctie geldt de overweging voor het adaptatieniveau natuurlijk evenzeer; het wegdek speelt op dat soort wegen echter voor het bepalen van de adaptatietoestand een kleinere rol, en bovendien is - meer in het bijzonder voor voetgangers - de waarnemingsrichting moeilijk te definiëren. Daarom wordt in vele gevallen (vooral voor verblijfsgebieden) het luminantieniveau benaderd door de gemiddelde verlichtingssterkte op het wegdek te nemen als maat voor de adaptatietoestand. Uit de praktijk is gebleken dat voor wegen waar het patroon van de verlichting minder wisselt, en minder kritisch is, zoals voor woonstraten, de verlichtingssterkte nog heel goed als maat voor het lichtniveau kan gelden. Voor deze straten is dit dan ook nog steeds gebruikelijk. Naast het gemak van het meten en berekenen van de verlichtingssterkte voor de bij woonstraten gebruikelijke 'simpele' lichtverdelingen, is er een tweede reden. Omdat - in tegenstelling tot wegen ten behoeve van het gemotoriseerde snelverkeer - het in woonstraten niet van te voren bekend is waar eventuele obstakels kunnen opdoemen, en omdat het niet bekend is wat de kenmerken (de reflectie-karakteristieken) van deze objecten kunnen zijn, is de luminantie nauwelijks beter dan de verlichtingssterkte ter karakterisering van het lichtniveau.

Blijft de vraag hoe de verlichtingssterkte moet worden gekwantificeerd. Het meest gebruikelijk, en het gemakkelijkste, is het gebruik van de horizontale verlichtingssterkte op het vlak van het wegdek - het gemiddelde en het patroon. Dit is gemakkelijk te berekenen en gemakkelijk te meten, en het geeft een globaal beeld van wat men in de straat kan verwachten. Voor een meer nauwkeurige omschrijving van de verlichtingsomstandigheden is een verfijning nodig. Vaak kiest men voor deze verfijning de *semi-cylindrische verlichtingssterkte*. Hieronder wordt verstaan de verlichtingssterkte zoals die wordt gemeten wanneer men de gemiddelde waarde neemt van alle verlichtingssterkten op een verticaal oppervlak, dat de gedaante heeft van een (halve) cilinder. Deze kenschetsing is vooral van belang om de mogelijkheden te kwantificeren voor het *herkennen* van personen, en van hun gezichtsuitdrukking. Zowel de methoden voor berekening en van meting van de semi-cylindrische verlichtingssterkte staan nog in de kinderschoenen, terwijl voor slechts zeer weinig verlichtingsmiddelen de door de fabrikant geleverde documentatie de toepassing ervan bij het ontwerp van verlichtingsinstallaties mogelijk maakt.

In sommige gevallen wordt ook de *verticale verlichtingssterkte* gebruikt. Deze heeft echter de bezwaren van de semi-cylindrische verlichtingssterkte, maar niet al de voordelen, zodat het gebruik ervan voor algemene gevallen in de openbare verlichting niet wordt aanbevolen. Voor speciale gevallen kan deze maat zijn nut hebben, zoals bijvoorbeeld bij tunnelverlichting. Volledigheidshalve vermelden we de *hemisferische verlichtingssterkte* (het gemiddelde over een halve bol met de as recht omhoog). Deze grootte wordt in binnenverlichting veel gebruikt. Ze is voor openbare verlichting niet geëigend, en wordt dan ook niet gebruikt.

#### 3.4.4. De verblinding

Verblinding treedt op wanneer door de aanwezigheid van heldere gedeelten in het gezichtsveld de waarneming wordt bemoeilijkt. Meer in het bijzonder spreekt men van verblinding wanneer er sprake is van een (meestal kleine, heldere) *verblindingslichtbron* die naast het waar te nemen object ligt, en zelf geen rol speelt bij de informatieverschaffing. Op deze wijze omschreven is verblinding steeds een *storend* effect.

Voor de openbare verlichting worden kwantificeerbare beschrijvingen voor de verblinding gehanteerd; in vele gevallen worden voor bepaalde verlichtingsinstallaties bepaalde eisen gegeven voor de verblinding (preciezer: voor de *mate van verblindingsbegrenzing*).

De terminologie is verwarrend. Feitelijk zou men in het Nederlands alleen van verblinding moeten spreken wanneer door de inwerking van de verblindingsbron de waarneming geheel onmogelijk wordt gemaakt; dan is men blind. In het Engels spreekt men dan van 'blinding'. Wij gebruiken de term verblinding echter ook wanneer de waarneming niet onmogelijk is, maar slechts gehinderd. (Engels 'glare'). En soms spreekt men van verblinding wanneer er van een negatieve invloed op de waarneming helemaal geen sprake is, maar alleen van een vermindering van het gemak van waarneming (Engels: dazzle). In de Nederlandse verlichtingskunde worden deze drie begrippen in navolging van het Duits gewoonlijk als volgt omschreven:

- absolute verblinding
- fysiologische verblinding (disability glare in het Engels)
- psychologische verblinding (discomfort glare in het Engels).

De erbij gegeven Engelse termen zijn het Nederlandse taalgebied gemeengoed geworden.

Aangezien bij de 'gewone' openbare straatverlichting de absolute verblinding vrijwel nooit aan de orde komt, zijn daar geen regels voor gegeven.

In het verleden werd de meeste aandacht besteed aan de *discomfort glare* (Adrian & Schreuder, 1968, 1971, 1972; De Boer, ed., 1967; Schreuder, 1967, 1972b). Soms werden aanbevelingen alleen in termen van discomfort glare uitgedrukt (NSVV, 1974/75). Meer recent is echter de gedachte dat disability glare meer van belang is voor de verkeersveiligheid, en dat de twee verblindingssoorten toch veel gemeen hebben, zodat de restrictie van de een meestal samen gaat met restrictie van de ander. Omdat bovendien de disability glare gemakkelijker te bepalen is, wordt daaraan meestal de voorkeur gegeven (Schreuder, 1983). De pas gepubliceerde Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSVV geven zelfs in het geheel geen (grens-)waarden op voor de discomfort glare (NSVV, 1990). Voor de berekening van de psychologische verblinding is een gecompliceerd

ceerde methode in omloop: de 'glare mark' G (het verblindingsbegrenzingsgetal). Deze methode werd in het verleden vrij veel gebruikt.

Tegenwoordig beperkt men zich voor de openbare straatverlichting tot de psychologische verblinding. De effecten van *disability glare* kunnen worden beschreven in termen van een lichtsluier die zich over het gezichtsveld uitstrekt. Voor zover het gaat om licht dat in de oogmedia wordt verstrooid, heeft deze lichtsluier een fysische betekenis; voor zover het andere aspecten van de verblinding betreft (o.a. neuronale), is een fysische basis onduidelijk. Men spreekt daarom meestal over de 'equivalente sluiertluminantie'  $L_{seq}$ . Wel kan deze sluiertluminantie, equivalent of reël, in luminantiewaarden worden gekwantificeerd.

Voor een enkele (puntvormige) verblindingslichtbron is de sluiertluminantie gemakkelijk te bepalen. Stiles en Holaday hebben reeds in de twintiger jaren een formule gegeven waarin de waarde van de sluiertluminantie (behoudens een evenredigheidsconstante) alleen afhangt van de verlichtingssterkte E op het oog, teweeg gebracht door de verlichtingsbron, en de hoek  $\Theta$  tussen de kijkrichting en de richting waarin de verblindingsbron te zien is. De bedoelde relatie is:

$$L_{seq} = K \cdot \frac{E}{\Theta^2}$$

Met  $L_{seq}$  in  $cd/m^2$ , E in lux en  $\Theta$  in graden is K ongeveer 10. Dit is de bekende Stiles-Holaday-relatie die lange tijd als algemeen geldig is beschouwd, tenminste voor  $\Theta$  tussen 2 en 50 graden (zie bijvoorbeeld Adrian, 1969). Vos (1983) heeft op basis van alle beschikbare gegevens en van eigen werk een betere formule opgesteld die geldig is voor  $\Theta$  tussen 10 boogminuten en 100 graden. De formule is wel wat ingewikkelder, maar hangt nog steeds alleen van  $\Theta$  af (zie ook Vos & Padmos, 1983). Verblinding is - tenminste volgens de wetmatigheden die door Vos naar voren zijn gebracht - cirkelsymmetrisch en additief! Over de additiviteit bestaan overigens enige twijfels (zie bijv. Schreuder, 1981a). Omdat de disability glare voor het grootse deel (volgens velen volledig) wordt veroorzaakt door lichtverstrooiing in het oog, hangt de mate van verblindingshinder sterk af van de conditie van het oog zelf. Het is bekend dat er grote verschillen bestaan in de helderheid van de oogmedia wanneer men verschillende mensen vergelijkt. Vooral de leeftijd is van groot belang. De hierboven genoemde factor K is dan ook geen constante, maar hangt sterk af van de leeftijd, en vertoont verder een aanzienlijke spreiding 'tussen personen'. Verschillen van een factor 10 tussen personen kan gemakkelijk voorkomen. Het is dan ook de vraag of het zinvol is de verblinding met grote precisie te bepalen. Vos (1983) heeft ook deze leeftijdafhankelijkheid bestudeerd. Zie voorts Gregory (1970); Schouten (1972) en Schreuder (1981).

In de straatverlichting wordt de fysiologische verblinding gekwantificeerd door de *verhoging van de drempelwaarde voor de contrastwaarneming* (in het Engels: het *threshold increment* TI). Hieronder wordt verstaan de mate waarin de drempelwaarde toeneemt ten gevolge van de hierboven genoemde, van de verblinding afkomstige, (equivalente) sluiertluminantie. Zoals gezegd, zijn in de recent uitgegeven Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSvV maximaal toelaatbare waarden voor TI opgegeven voor verschillende wegtypen.

### 3.4.5. De gelijkmatigheid

Zoals hierboven is aangegeven, is het lichtniveau het belangrijkste gegeven voor de beoordeling van de kwaliteit van de openbare verlichting, en wel om twee redenen:

- het bepaalt het algemene niveau van de waarneembaarheid;
- het bepaalt in hoofdzaak de kosten van de installatie.

Hierbij is het om het even of het lichtniveau in de luminantie of in de verlichtingssterkte wordt uitgedrukt.

Voor de waarneembaarheid van objecten (meer in het bijzonder voor kleine, donkere, diffuus reflecterende, stationaire objecten zoals stenen en dozen) is naast het lichtniveau ook de *gelijkmatigheid van het lichtpatroon* van belang. Het belang is erin gelegen dat bij een grote ongelijkmatigheid (grote verschillen tussen de lichtste gedeelten en de donkerste gedeelten) dergelijke kleine objecten in de donkere delen kunnen verdwijnen. Daarom worden naast het lichtniveau gewoonlijk ook eisen gesteld aan de *ongelijkmatigheid*.

Het is gebruikelijk om de ongelijkmatigheid in dezelfde maat uit te drukken als het lichtniveau. Wordt het lichtniveau uitgedrukt in de gemiddelde wegdek-luminantie, dan worden voor de ongelijkmatigheid ook luminantiematen gebruikt. Daarvoor komen er twee voor praktische toepassing in aanmerking:

1. De *algemene ongelijkmatigheid*  $U_o$ . Dit is het quotiënt van de minimale luminantie en de gemiddelde luminantie. Zowel het meetgebied als de afmetingen van het 'punt' moeten voldoen aan de in par. 3.5.6 gegeven condities die door de CIE zijn vastgelegd.
2. De *langsgelijkmatigheid*  $U_l$ . Dit is het quotiënt van de minimale en de maximale 'puntwaarden' van de luminantie binnen het gebied van 50 tot 150 meter voor de waarnemer op een lijn die zich evenwijdig aan de wegas recht voor de waarnemer uitstrekt.

Wanneer het lichtniveau in verlichtingssterkten (horizontaal, verticaal of semicylindrisch) wordt uitgedrukt, dan wordt de ongelijkmatigheid eenvoudigweg als quotiënt van de minimale en de maximale waarde aangeduid. Speciale eisen aan de meetcondities zijn niet gegeven, en zijn ook niet nodig.

### 3.4.6. De traditionele kwaliteitscriteria voor openbare verlichting

In de traditionele benadering van de openbare verlichting worden, zoals hierboven is aangegeven, twee uitgangspunten gebruikt:

- het luminantiebeginsel;
- het verlichtingssterktebeginsel.

Vrijwel alle in omloop zijnde aanbevelingen en richtlijnen voor openbare verlichting zijn op een van de twee, of soms op alle twee, gebaseerd. In sommige gevallen, zoals in de vigerende BSI-standaard in Engeland worden alleen getalwaarden ('recepten') gegeven; deze recepten zijn echter op het luminantiebeginsel gebaseerd. De enige uitzonderingen is het ontwerp voor de aanbevelingen van de VS. Deze zijn in beginsel gebaseerd op de waarneembaarheid. Aangezien er voor de waarneembaarheid geen voor de praktijk bruikbare metriek bestaat, worden de praktische aanbevelingen toch in luminanties uitgedrukt.



Ook de recente Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSvV zijn op deze twee uitgangspunten gebaseerd. Voor wegen met (in hoofdzaak) een verkeersfunctie wordt het luminantiebeginsel gebruikt; voor wegen met (in hoofdzaak) een verblijfsfunctie daarentegen het verlichtingssterktebeginsel.

Bij het luminantiebeginsel horen drie kwaliteitscriteria, die hierboven in detail zijn besproken:

- het lichtniveau (gemiddelde wegdekluminantie);
- de ongelijkmatigheid ( $U_o$  en  $U_i$ );
- de verblinding (het 'threshold increment' TI).

In beginsel zijn alle drie de criteria gebaseerd op de waarneembaarheid van kleine, donkere, diffuus reflecterende, stationaire objecten. Soms wordt een vierde criterium toegevoegd, hetwelk eigenlijk niet in de rij thuis hoort:

- de optische (visuele) geleiding.

Dit criterium hoort thuis bij de functionele criteria, waarover in de volgende paragraaf meer wordt gezegd.

Bij het verlichtingssterktebeginsel horen ook drie criteria, die zeer analoog zijn:

- het lichtniveau (gemiddelde verlichtingssterkte);
- de ongelijkmatigheid;
- de verblinding.

In par. 3.6.2 gaan we nader in op de vraag, op welke wijze deze kwaliteitscriteria onderling samenhangen.

#### 3.4.7. Vraag en aanbod

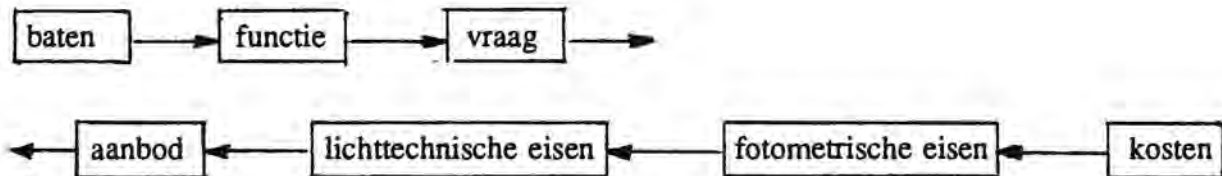
Voor beslissingen en handelingen in het verkeer is een bepaalde hoeveelheid en kwaliteit aan informatie nodig: de vraag. De omgeving verschaft visuele informatie van een bepaalde hoeveelheid en kwaliteit: het aanbod. De deelname aan het verkeer kan alleen goed plaatsvinden wanneer het aanbod de vraag dekt. Vraag en aanbod hebben aspecten, die kunnen worden uitgedrukt in de hiervoor aangegeven onderscheidingen: waarneembaarheid, opvallendheid en herkenbaarheid.

Op basis van de functionele beschrijving kunnen de *functionele vereisten* waaraan de verlichting moet voldoen, worden gegeven. Deze functionele vereisten zijn de uitkomst van een (politiek) beslissingsproces, en zijn het resultaat van beleidsoverwegingen. Aan de hand van deze functionele vereisten kunnen *zichtbaarheidseisen* worden opgesteld, die te maken hebben met de waarneembaarheid van de objecten die moeten worden waargenomen. De zichtbaarheidseisen kunnen worden gesplitst in 'vraag' en 'aanbod': de functionele vereisten bepalen de 'vraag' naar waarneembaarheid, terwijl de verlichtingsinstallatie het 'aanbod' van de waarneembaarheid verschaft. Op basis van deze zichtbaarheidseisen kunnen de *lichttechnische eisen* worden opgesteld; deze hebben te maken met lichtniveau, verblinding, lichtkleur, gelijkmatigheid, in- en uitschakelen van de verlichting enz. De lichttechnische eisen kunnen tenslotte worden vertaald in *fotometrische en geometrische eisen*; deze hebben betrekking op de lichtverdeling van de te gebruiken lamp en armatuurcombinaties, met de opstellingswijze en ophanghoogte van de verlichtingsmiddelen, enz.

Deze eisen kunnen in hun samenhang in een schema worden ondergebracht. Dit schema kan worden toegepast op verschillende functies van de verlichting. Hieronder is het afgebeeld, in dit geval toegespitst op de verkeersveiligheid.



Dit schema kan worden uitgebreid met de 'baten' aan de kant van de functionele vereisten, en met de 'kosten' aan de kant van de installatie. Het schema ziet er dan als volgt uit:



Op deze wijze kan het schema dienen als basis voor een kosten/baten-analyse (Schreuder, 1977, 1991b, 1991e). Uiteraard kunnen de 'kosten' en de 'baten' ook voor andere functionele vereisten worden opgesteld.

Wanneer het aanbod geringer is dan de vraag, kan niet op een bevredigende wijze aan het verkeer worden deelgenomen. De vlotheid, de veiligheid en/of het comfort komen in het gedrang. Een oplossing kan uiteraard op twee wijzen worden gevonden: men kan het aanbod vergroten of de vraag verkleinen.

Om met dit laatste te beginnen: de vraag naar visuele informatie kan per tijdseenheid worden verkleind door een lagere (rij)snelheid te kiezen. Informatie is dan niet alleen in een minder hoog tempo nodig, maar het uitvoeren van de taak vergt minder informatie; daarbij kan soms met informatie van slechtere kwaliteit worden volstaan. Ook kan door opleiding, oefening of training worden bereikt dat de verkeersdeelnemers minder informatie nodig hebben. Zo kan door het aanleren van adequate verwachtingspatronen worden bereikt dan slechts een geringe hoeveelheid informatie nodig is om te weten welke beslissing moet worden genomen.

Het aanbod aan visuele informatie kan worden vergroot door een aantal technische hulpmiddelen, en wel:

- verlichting
- signalering
- markering

### 3.4.8. Reflectie van wegdekken

#### 3.4.8.1. Reflectie en luminantie

Een oppervlak kan op twee wijzen een bepaalde luminantie krijgen: het kan zelf licht uitstralen, en het kan opvallend licht weerkaatsen. Ofschoon de luminantie dezelfde is, en op dezelfde wijze wordt gemeten, wordt hij op een geheel andere wijze beschreven en berekend. We beperken ons hier tot de tweede mogelijkheid: luminantie ten gevolge van lichtreflectie.

Om de luminantie van een reflecterend (niet-lichtuitstralend) oppervlak te weten, moet naast de intensiteit en de ruimtelijke verdeling van het opvallende licht, ook de reflectie van dit oppervlak bekend zijn.

#### 3.4.8.2. Reflectie en retroreflectie

De luminantie van een (zelf niet-lichtgevend, verlicht) voorwerp is evenredig met de verlichtingssterkte die door het opvallende licht teweeg wordt gebracht, en met de reflectiefactor. Deze reflectiefactor hangt af van de oppervlaktegesteldheid van het voorwerp, en van de wijze van verlichten. Het voorwerp kan drie soorten reflectie vertonen (en mengvormen ervan):

1. *Diffuse reflectie*. Het licht wordt ongeacht de wijze van instraling, naar alle richtingen even streek weerkaatst (verstrooid). Dit is het geval bij alle oppervlakken die een korrelstructuur hebben, en waarvan de korrels 'random' zijn georiënteerd. Voorbeelden zijn: talkpoeder, sneeuw, enz.
2. *Spiegelende (of reguliere) reflectie*. Het licht volgt de zgn. spiegelwetten van Snellius: de hoek tussen de invallende lichtstralen en de verticaal (normaal) op het oppervlak is gelijk aan de hoek tussen de weerkaatste lichtstralen en deze normaal. Voorbeelden: metalen oppervlakken zoals spiegels, niet-kristallijne stoffen zoals glas en water, enz.
3. *Retroreflectie*. Bij retroreflectie wordt het licht teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam. Daartoe zijn die materialen of die voorwerpen voorzien van optische systemen (retroreflectoren) die de omkeer van de stralengang door reflectie bewerken.

#### 3.4.8.3. Beschrijving van de reflectie van wegdekken

Alleen in geval van diffuse reflectie is er sprake van een enkele reflectiefactor, die dan ook een *scalair* grootheid is. In alle andere gevallen hangt de intensiteit van het weerkaatst licht (en dus de 'reflectiefactor') af zowel van de richting van het invallende licht als van de richting van het weerkaatste licht. In beide gevallen zijn twee onafhankelijke variabelen nodig om de richting vast te leggen; in totaal dus vier. De reflectie kan alleen door een *tensor* worden beschreven.

Uiteraard is de intensiteit van het teruggekaatste licht recht evenredig met de intensiteit van het invallende licht. Wanneer de reflector *isotroop* is (een rotatiesymmetrie vertoont) zijn drie variabelen genoeg en kan de reflectie als een ruimtelijke figuur worden weergegeven, de zgn. reflectie-indicatrix. Zie bijvoorbeeld Schreuder (1967) en SCW (1974, 1984).

Wanneer men bovendien de waarnemingsrichting vastlegt (meestal wordt daarvoor gekozen een hoek van  $1^\circ$  met het horizontale vlak) dan blijven slechts twee variabelen over, en kunnen de reflectiekenmerken worden weergegeven in een tabel. De vorm en de omvang van deze tabellen zijn door de CIE gestandaardiseerd; men spreekt in dat geval van R-tabellen. Deze R-tabellen vormen de basis voor de bepaling van de luminantie en de luminantieverdeling, en dus van het ontwerp van straatverlichtingsinstallaties.

#### 3.4.8.4. Classificatie van de reflectiekenmerken van wegdekken

Een gedetailleerde studie van enige honderden wegdekken heeft tot het inzicht geleid dat wegdekken wat betreft hun reflectie-eigenschappen in een klein aantal klassen kunnen worden ingedeeld aan de hand van een klein aantal karakteristieke reflectiewaarden. Op basis van het werk van Westermann (1963, 1964, 1967) is een klasse-indeling (de zgn.  $Q_0$ -kappa-classificatie) in vier klassen (R1 t/m R4) voorgesteld; door Sørensen (1975) uitgebreid voor natte wegen (zie Sørensen & Nielsen, 1974 en CIE, 1976). Onderzoek in Nederland heeft aangetoond dat een betere en nauwkeurigere classificatie mogelijk is aan de hand van drie karakteristieken. Deze indeling heeft slechts twee klassen (C1 en C2) plus een *schaalfactor* ( $P(0;0)$ , vaak ook  $q_p$  genaamd). De indeling in de klassen C1, resp. C2 representeert de 'vorm' van de indicatrix; het in rekening brengen van de schaafactor  $q_p$  representeert het 'volume' van de indicatrix. Vandaar de term schaafactor: alle  $q_p$ -waarden die voor de berekening worden gebruikt, zijn evenredig met  $q_p$ . Dit systeem is beschreven in SCW (1984). Deze classificering is door de CIE en de PIARC als alternatief geaccepteerd (CIE, 1984a). Zie ook Burghout (1977; 1977a).

Fundamenteel is er een duidelijk verschil tussen het  $Q_0$ -kappa-systeem en het C1-C2-systeem. Beide zijn systemen voor het voor het classificeren van wegdekken naar hun reflectie-eigenschappen. Bij het eerste systeem wordt de reflectie zelf als basis gebruikt voor de classificatie; de classificatie vindt in feite plaats aan de hand van de vorm van de reflectie-indicatrix van de wegdekken. Bij het tweede systeem wordt de classificatie gebaseerd op de luminantie en de luminantieverdeling van de verlichtingsinstallaties die men onder gebruikmaking van de betreffende wegdekken kan maken. In het  $Q_0$ -kappa-systeem worden twee wegdekken tot dezelfde klasse gerekend wanneer ze dezelfde (of bijna dezelfde) reflectie-indicatrix hebben; in het C1-C2-systeem worden twee wegdekken tot dezelfde klasse gerekend wanneer ze dezelfde (of bijna dezelfde) luminanties opleveren bij dezelfde verlichtingsinstallatie.

In sommige speciale gevallen zijn verdere vereenvoudigingen aan te brengen. Zo is overdag de lichtinval bij benadering alzijdig; bovendien vertonen droge wegdekken een reflectie die niet al te veel van de diffuse reflectie afwijkt, zodat de reflectie overdag van droge wegmarkeringen meestal op voldoende nauwkeurige wijze met een enkel getal (een scalar dus) kan worden beschreven. Wanneer de oppervlakken nat zijn, is deze benadering niet meer geoorloofd. Ook bij straatverlichting moet met de verschillende hoeken rekening worden gehouden. Het sterkste is dit het geval bij de waarneming van retroreflecterende materialen wanneer ze verlicht worden door de koplamp(en) van het voertuig van de waarnemer; de reflectie kan gemakkelijk het honderd-voudige bedragen van de diffuse reflectie van hetzelfde materiaal (CIE, 1987; 1988a; Dutruit, 1974; Schreuder, 1985b).

Van belang is het feit dat in vrijwel alle gevallen de reflectie van wegdekken zodanig is dat het meeste licht in dezelfde richting als de instraling wordt gereflecteerd: wegdekken zijn vrijwel steeds in meer of mindere mate *spiegelend* van karakter. Dit was de basis voor het  $Q_0$ -kappa-systeem dat door Westermann (1963; 1964) is ingevoerd: kappa gaf de spiegeling aan, en  $Q_0$  de totale reflectie (zie ook CIE, 1976; 1984a; Schreuder, 1967). De grondgedachte is, zij het minder duidelijk zichtbaar, nog steeds aanwezig, ook bij het C1-C2-systeem. Dit geldt al voor droge wegen; voor vochtige en natte wegen is deze spiegeling nog veel sterker. Omdat de natte toestand van wegen zeer moeilijk is te definiëren, wordt vooral met droge wegdekken rekening gehouden.

Het spiegelende karakter van wegdekken leidt ertoe dat licht dat tegen de waarnemingsrichting in het wegdek treft, sterker wordt gereflecteerd dan licht dat met de waarnemingsrichting mee het wegdek treft. Men noemt de luminantie die het gevolg is van het invallende licht wel de 'luminance yield' (Schreuder, 1967, Knudsen 1967, 1968). Wegdekken vertonen een zodanige reflectie dat de luminance yield voor tegenstralend licht vrijwel altijd groter, en gewoonlijk veel groter, is dan voor meestralend licht.

#### 3.4.8.5. Identificeren en classificeren

In het C1-C2-systeem zijn drie individuele reflectiewaarden voldoende om een wegdek te *karakteriseren*. Deze drie waarden komen dus in de plaats van  $q_0$  en  $q_p$  bij het  $Q_0$ -kappa-systeem. Karakteriseren betekent daarbij dat het wegdek als een individueel wegdek, afwijkend van de andere wegdekken, kan worden beschouwd. De drie reflectiewaarden kunnen worden gekenschetst door de lichtinvalsrichting, omdat de waarnemingsrichting immers door de gemaakte conventies vast ligt. De drie reflectiefactoren corresponderen met de volgende lichtinvalsrichtingen:

P(0;0): verticale lichtinval (soms aangeduid als  $q_p$ );

P(2;0): lichtinval 'recht vooruit' met tangens 2;

P(1;90): lichtinval 'dwars' met tangens 1.

Men kan ook, gebruik makend van dezelfde drie reflectiefactoren, een wegdek *identificeren* met een ander, mits de twee wegdekken de zelfde waarden hebben voor de drie bedoelde waarden. Tenslotte zijn de drie waarden (of tenminste twee ervan) gebruikt voor de *classificatie* volgens het C1-C2-systeem. Daarbij is P(2;0) in twee klassen gedeeld ( $< 0,4$  en  $> 0,4$ ). Als schaalwaarde wordt de P(0;0) gebruikt.

Voor de berekening van de luminantie is een complete R-tabel nodig; het C1-C2-systeem kent er derhalve twee, een standaardtabel voor iedere klasse. Deze zijn in een relatieve maat weergegeven met  $P(0;0) = 1$ . Vermenigvuldiging met de voor het betreffende wegdek relevante waarde van P(0;0) levert de waarden van  $q$  voor de berekening op.

In de praktijk betekent dit dat er slechts een klein aantal complete R-tabellen nodig is, mits van de te onderzoeken wegdekken de drie reflectiewaarden kunnen worden bepaald. Via classificatie is, gebruik makend van een van de twee standaardwegdekken een vrij globale berekening te maken van de luminantie. Volgens SCW (1984) blijft de afwijking tussen de waarden die via de benadering van de classificatie berekend zijn, en de waarden die met gebruikmaking van de 'echte' R-tabel zijn berekend, kleiner dan ca. 15% in de waarden van de luminantie of van de ongelijkmatigheid.

Wil men deze discrepantie vermijden, dan moet met de R-tabel van het wegdek zelf worden gewerkt. Deze is echter meestal niet bekend; een betere benadering kan gevonden worden door het proces van *identificatie*. Wanneer de drie bedoelde reflectiefactoren van het betreffende wegdek worden gemeten, kan uit de bestaande atlanten (bijvoorbeeld Erbay, 1974) een R-tabel worden geselecteerd van een 'identiek' wegdek (identiek betekent hier dat de waarden van de drie reflectiefactoren gelijk zijn, of ten minste recht evenredig met elkaar zijn).

#### 3.4.8.6. Reflectie-eigenschappen van wegmarkeringen

In de praktijk is de waarneembaarheid van wegmarkeringen eigenlijk steeds redelijk tot zeer goed, met één belangrijke uitzondering: bij regen en duisternis op een overigens onverlichte weg omdat dan de retroreflectoren niet werkzaam kunnen zijn (Schreuder, 1980a).

Er is veel onderzoek gedaan naar de eisen die aan de waarneembaarheid van wegmarkeringen moeten worden gesteld. Overdag zijn deze eisen niet kritisch, en evenmin bij openbare verlichting. Voor wegen zonder openbare verlichting heeft de CIE, op basis van dit onderzoek, dat in een nauwe onderlinge samenwerking in Frankrijk en in Duitsland is uitgevoerd, aanbevolen dat de retroreflectiewaarde tenminste 50 mcd/m<sup>2</sup>.lux moet bedragen.

De meting van deze reflectiefactor is echter geen eenvoudige zaak. In de praktijk blijkt dat vooral de geometrie tot problemen aanleiding kan geven. Immers, de waarnemingshoek is - net als bij wegdekken - slechts één graad met de horizontaal. Maar anders dan bij de wegdekken is de lichtinvalsrichting nog vlakker; immers, koplampen zitten dicht bij de weg dan het oog van de waarnemer. Aangezien deze vlakke hoeken tot problemen bij het uitrichten kunnen leiden, heeft men gewoonlijk een veel makkelijker weg gekozen: de waarnemingshoek is op 5° gesteld, en de invalshoek op 3°. Daarbij gaat men echter voorbij aan het feit dat de waarneembaarheid bij deze vrij grote hoeken geheel anders kan zijn dan bij de hoeken die voor het verkeer relevant zijn.

Het wordt als een belangrijke gemis gevoeld dat wegmarkeringen niet gemeten kunnen worden onder deze relevante hoeken; daarbij komt dat de waarneembaarheid van de markering vooral afhangt van het *contrast* tussen markering en wegdek, zodat beiden onder dezelfde geometrie moeten worden gemeten. Het is van belang dat met de in ontwikkeling zijnde meetmethode ook wegmarkeringen gemeten kunnen worden.

### 3.5. Meten en berekenen van lichttechnische karakteristieken

#### 3.5.1. *Het doel van metingen en berekeningen*

In beginsel worden berekeningen in de openbare verlichting gebruikt in de ontwerpfase, en metingen in de controlefase. Installaties voor openbare verlichting moeten aan de te stellen voorwaarden voldoen; recentelijk neemt men daarvoor in Nederland de aanbevelingen van de NSvV.

Bij het ontwerp gaat men uit van een bepaalde functie van de (toekomstige) weg. Daaruit volgen volgens de NSvV de lichttechnische karakteristieken (luminantie of verlichtingssterkte; lichtniveau; gelijkmatigheid; verblinding). Voor het ontwerp wordt een installatie uitgezocht die aan deze eisen voldoet. Momenteel is dat een 'iteratief' proces: men kiest een voorbeeld, rekent dat door, en kijkt of de uitkomst 'in de buurt' komt. Zo niet, dan wordt het voorbeeld aangepast. Dit proces wordt zodanig vaak herhaald tot men tevreden is over het resultaat; dwz dat men vindt dat het resultaat dicht genoeg bij de eisen ligt. Uiteraard is dit een zeer omslachtige weg; het is aan te bevelen om een rekensysteem op te stellen dat 'andersom' werkt; waar men dus met de eisen begint, en waar de uitkomst de installatie is. De berekeningssystemen worden kort toegelicht in par. 3.5.5 en par. 3.5.6.

Bij een zorgvuldig ontwerp wordt niet alleen op gelet dat aan de lichttechnische eisen is voldaan; ook andere aspecten als onderhoud, kosten, milieubelasting enz. komen aan de orde. Het ontwerp vormt daarmee een onderdeel van een *beheersplan* voor de openbare verlichting. Zie verder Guldemond (1992, 1992a) en Steenks (1992).

Na het ontwerp wordt de installatie aangebracht. Het is van belang om na te gaan of de gerealiseerde installatie ook inderdaad aan de gestelde eisen voldoet; er is behoefte aan een *afnamecontrole*. Hiervoor zijn metingen nodig. Voor zover het gaat om straten waarbij de verlichtingssterkte de basis is voor het ontwerp, kan de afnamecontrole worden uitgevoerd, en wel door de verlichtingssterkte te meten. Dit is overigens geen eenvoudige zaak; zie verder par. 3.5.2. Anders is het bij wegen waarbij de luminantie de basis is voor het ontwerp. Omdat momenteel het niet mogelijk is om op eenvoudige wijze luminantiemetingen op de weg met voldoende nauwkeurigheid uit te voeren, is een directe afnamecontrole niet mogelijk. De NSvV (1993) beveelt aan om als tussenstap de horizontale verlichtingssterkte te meten. Het spreekt voor zich dat dit een ongewenste situatie is; een goede methode voor het meten van de luminantie op de weg is dan ook dringend noodzakelijk.

Deze noodzaak wordt eens te meer onderstreept door de recente ontwikkelingen op het gebied van aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid. Zowel het (nieuwe) Nederlandse Burgerlijk Wetboek als de (binnenkort van kracht wordende) Europese regelgeving vereisen dat de installatie niet alleen in nieuwe toestand, maar ook gedurende de gehele levensduur aan de te stellen eisen voldoet. Metingen gedurende de gebruikstijd van de installatie zijn dan ook dringend gewenst (Schreuder, 1992b).

### 3.5.2. De meting van de verlichtingssterkte

Over de meting van de *horizontale verlichtingssterkte* op het wegdek kunnen we kort zijn. Dit onderwerp behoort tot de 'klassieken' van de verlichtingskunde; de beginselen zijn te vinden in handboeken als De Boer (ed.) (1967); Keitz (1967); Reeb (1962) en Walsh (1953). Een zeer recent overzicht is te vinden in het Deel II van de nieuwe NSvV-aanbevelingen (NSvV, 1993), dat over dit onderwerp handelt.

In drie opzichten worden hoge eisen gesteld aan de meetapparatuur: Ten eerste zijn de lichtniveaus die gemeten moeten worden, soms zeer laag. Een minimum van 0,1 lux of nog minder is in woonstraten geen uitzondering. Om de ongelijk-

matigheid te kunnen beoordelen moeten vooral de minimale waarden goed bekend zijn; wanneer men een dergelijke waarde met een behoorlijke nauwkeurigheid wil meten, moet de apparatuur een grote gevoeligheid hebben. Met de moderne digitale luxmeters is dit echter geen probleem.

Ten tweede moet de hoekafhankelijkheid goed overeenstemmen met de cosinusverdeling (de cosinuscorrectie). De reden is dat een aanzienlijk deel van de te meten lichtstroom het wegdek onder een strijkende hoek treft, en dat daarbij het licht tegelijk van vele richtingen kan komen. Ook de moderne luxmeters zijn wat dit betreft niet allemaal even goed; speciale aandacht is nodig.

Ten derde moet de meter zeer precies aangepast zijn aan de ooggevoeligheidskromme (kleurcorrectie). De reden is dat in de straatverlichting lichtbronnen met smalle spectraallijnen gebruikt worden (SL, SON), en vaak zelfs monochromatische lichtbronnen (SOX). Bovendien komen in vele installaties lampen van verschillende typen tegelijk voor, zodat de traditionele 'truc' om met omrekeningsfactoren te werken, niet meer kan worden toegepast. Ook wat dit betreft zijn de moderne luxmeters niet allemaal even goed; ook hier is speciale aandacht nodig. (N.B. Hier zijn korthedshalve handelsmerken en handelsbenamingen gebruikt.

De meting is alleen mogelijk in punten. Voor de bepaling van de ongelijkmatigheid zijn dergelijke puntmetingen noodzakelijk. Voor het bepalen van de gemiddelde verlichtingssterkte op het wegdek is het nodig om in een aanzienlijk aantal punten te meten. Hoe groot het aantal punten moet zijn, en hoe het patroon ervan over het wegdek moet zijn verdeeld, is onderwerp van discussie. Dit patroon is ook (vooral) voor de bepaling van de ongelijkmatigheid essentieel. De CIE heeft een aantal richtlijnen vastgesteld, die niet altijd het 'juiste' antwoord opleveren, maar wel consistent zijn. Zie CIE (1976) en NSvV (1993).

Bij de meting moeten een aantal factoren worden bewaakt, of anders worden meegemetten, waarna de uitkomsten moeten worden gecorrigeerd. Het gaat om de vochtigheid, het zicht, de vlakheid van de weg, de netspanning, strooilicht, enz. Zie verder NSvV (1993). De meting van de verticale verlichtingssterkte levert geen aanvullende moeilijkheden op. Wel is dat het geval bij de semi-cylindrische verlichtingssterkte; de definitie ervan is voor meerdere uitleggingen vatbaar, en de meting zelf is lastig. Sommige firma's leveren hulpstukken voor hun apparatuur, waarmee deze waarde direct kan worden gemeten; de nauwkeurigheid ervan is niet steeds precies bekend. Dit heeft te maken met de moeilijkheid om voor de semicylindrische verlichtingssterkte te ijken. En ook de benadering door de verticale verlichtingssterkte in een aantal vlakken te sommeren heeft hetzelfde bezwaar. Op dit moment is dit geen groot bezwaar, omdat vrijwel geen enkele leverancier van armaturen gegevens verschaft die nodig zijn om een verlichtingsontwerp op de semicylindrische verlichtingssterkte te baseren. Bovendien is het voordeel ervan boven de 'gewone' horizontale verlichtingssterkte nog niet overtuigend aangetoond.

Deze metingen maken het mogelijk om de eisen wat betreft het lichtniveau en wat betreft de ongelijkmatigheid te controleren. Controle van de verblindingseisen is niet mogelijk.



### 3.5.3. De meting van de luminantie

#### 3.5.3.1. Inleiding

In beginsel is het niet zo moeilijk om de luminantie te meten. Gebruik makend van de betrekking dat de verlichtingssterkte op een vlak afhangt van het kwadraat van de afstand tussen de lichtbron en het vlak, is de lichtsterkte van de lichtbron direct uit de verlichtingssterkte op dat vlak (en de afstand) af te leiden. Wanneer het oppervlak (het areaal) van de lichtbron bekend is, kan de luminantie ervan worden bepaald door de lichtsterkte te delen door dat areaal. En het meten van de verlichtingssterkte is het meten van elektrisch vermogen, gewogen volgens de 'ooggevoeligheidskromme'. Een fotocel met bekende weerstand en een stroommeter (micro-ampèremeter) zijn genoeg.

Het probleem begint pas bij het meten van de luminantie van zeer kleine of van zeer zwakke lichtbronnen (of van vlakken die licht reflecteren, en die als 'indirecte' lichtbronnen kunnen worden beschouwd. Het meten van zeer kleine bronnen vereist een zeer precieze uitrichting; dit is een probleem dat vooral in de astronomie aan de orde komt. In de wegverlichting heeft men echter te maken met zeer zwakke bronnen - of zeer donkere oppervlakken.

#### 3.5.3.2. Luminantiemetingen in de openbare verlichting

Zoals gezegd, heeft men in de wegverlichting te maken met zeer zwakke bronnen of zeer donkere oppervlakken. Maar bovendien is de geometrie zeer speciaal, en ook zeer kritisch: de waarnemingsrichting maakt een hoek van slechts één graad met het oppervlak van de weg. Dit betekent dat ook in de wegverlichting de luminantiemeter zeer precies moet worden uitgericht.

Tot zeer kort geleden was de combinatie van deze voorwaarden er de oorzaak van dat metingen van luminanties in de wegverlichting feitelijk onmogelijk waren. Weliswaar is er ongeveer dertig jaar geleden een apparaat ontwikkeld en ook in een kleine serie in de handel gebracht waarmee de gemiddelde wegdek-luminantie gemeten kan worden, maar dit apparaat was zeer moeilijk te hanteren, en de nauwkeurigheid laat te wensen over. Bovendien zijn puntluminanties eigenlijk niet te meten. Het apparaat wordt al sinds vele jaren niet meer gefabriceerd. Er zijn een aantal firma's die luminantiemeters maken, soms van een zeer goede kwaliteit; deze meters zijn echter moeilijk of geheel niet bruikbaar voor wegverlichting.

Bovendien maken deze metingen het alleen maar mogelijk om de eisen wat betreft het lichtniveau en wat betreft de ongelijkmatigheid te controleren. Controle van de verblindingseisen is niet mogelijk.

Moderne micro-elektronica geeft een aantal mogelijkheden waarmee luminantiemetingen ook in de wegverlichting in beginsel goed uitvoerbaar zijn. Daarbij wordt gebruik gemaakt van CCD's (Charge Coupled Devices; in feite een zeer groot aantal microscopisch kleine fotocellen die op een enkele 'chip' zijn gegroepeerd). Met een CCD kan men heel goed de relevante fotostromen opvangen; met de beschikbare software voor beeldverwerking is het goed mogelijk om uit de relevante fotostromen de luminanties of luminan-

tiepatronen af te leiden. In Nederland zijn een aantal veelbelovende, voorbereidende onderzoeken uitgevoerd. Verder ontwikkelingswerk is echter nog nodig om uit dit beginsel een voor de praktijk bruikbare, goedkope en betrouwbare meetmethode af te leiden.

De modernere metingen maken het mogelijk om naast de eisen wat betreft het lichtniveau en wat betreft de ongelijkmatigheid, ook de verblindings-eisen te controleren.

#### 3.5.4. *Het meten van de reflectie-eigenschappen van wegdekken*

##### *A. Metingen in het laboratorium*

Een factor van beslissende betekenis bij alle overwegingen van het meten van reflectie-eigenschappen van wegdekken is de afmeting van het meetgebied. Wegdekken, en meer in het bijzonder asfaltwegen, hebben een vrij grove structuur. Meestal zijn de korrels van het gebruikte aggregaat ongeveer een centimeter groot, soms ook worden nog grotere 'stenen' gebruikt. Om tot een representatieve waarde van de reflectie te komen, moet het meetgebied uiteraard groot zijn ten opzichte van de afmetingen van de korrels. Een uitgebreid onderzoek heeft ertoe geleid dat voor de meer gangbare wegdekken het meetgebied ten minste 400 cm<sup>2</sup> moet bedragen (SCW, 1984). Vervolgens moet men eraan denken dat de reflectiefactoren zijn gedefinieerd onder aanname dat de bundels van het licht dat instraalt en van het licht dat wordt gemeten, evenwijdige bundels zijn. Deze voorwaarden leggen strenge beperkingen op aan de mogelijkheden van de meting.

Tot nu toe zijn van alle wegdekken waarvan de reflectie bekend is, de complete R-tabellen in laboratoriumopstellingen gemeten. De resultaten van deze metingen zijn in de verschillende atlanten opgenomen. De meest complete en de meest betrouwbare is die van Erbay (1974). In de praktijk is dit een zeer omslachtige en kostbare methode. Ten eerste moeten er wegdekmonsters worden verschaft van voldoende grote omvang, waardoor het wegdek wordt beschadigd. Ten tweede moet er een laboratoriumopstelling ter beschikking staan waarmee de metingen op de goede wijze (met de goede geometrie) kunnen worden uitgevoerd. Omdat het meetgebied vrij groot moet zijn, moet de opstelling zo groot zijn dat ze niet in een normale laboratoriumruimte past: er moet een speciale ruimte voor worden gecreëerd en soms zelfs gebouwd. Resultaat van een en ander is dat er niet meer dan vier à vijf opstellingen op de wereld bestaan waarmee de metingen met een behoorlijke nauwkeurigheid konden worden uitgevoerd. Intussen zijn de meeste van deze opstellingen, gewoonlijk wegens gebrek aan fondsen, buiten gebruik gesteld. Alleen de opstelling van de firma Schreder te Luik is nog in gebruik; de opstelling van de KEMA in Arnhem wordt wellicht in de toekomst weer in gebruik genomen, maar deze opstelling is niet erg geschikt voor het bepalen van complete R-tabellen.

##### *B. Metingen op de weg*

Pogingen die in het verleden zijn ondernomen om metingen op de weg uit te voeren zijn steeds mislukt. De reden was dat 10 à 15 jaar geleden de miniaturisatie van de elektronica nog niet ver genoeg was gevorderd, terwijl handig verplaatsbare computers nog niet bestonden. Aangezien deze omstandigheden de laatste jaren drastisch zijn veranderd, kan nu met vrucht worden gedacht aan metingen *in situ*. Op dit gebied is al heel wat voorbereidend werk gedaan.

In het kader van een innovatieproject van de gemeente Den Haag is een aanzet gemaakt voor een systeem voor de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken, en voor het incorporeren van de resultaten ervan in het optimaliseringsproces. Een meetapparaat is een essentieel onderdeel van het systeem. Over de ontwikkelingen van het systeem en het bijbehorende apparaat zijn reeds enige voorbereidende studies uitgevoerd door studenten van de Haagse Hogeschool en van de Haarlem Business School. Een eerste prototype is vervaardigd door Technomart, een instelling die verbonden is aan de Haagse Hogeschool. NOVEM heeft voor een en ander een startsubsidie verleend.

De keuze voor de meetmethode is gevallen op een *dynamische* meting *in situ*. Hiervoor is gekozen om de volgende redenen:

- bij het huidige drukke verkeer is het nauwelijks meer mogelijk om de weg af te zetten voor het trekken van boorkernen of het uitvoeren van metingen;
- de kosten voor het boren, het herstellen van de weg, en voor het transport van de kernen zijn niet onaanzienlijk;
- de kernen kunnen tijdens het boren, het transport of de opslag beschadigd worden of op andere wijze wat betreft hun kenmerken veranderen;
- wegbeheerders zijn (niet ten onrechte overigens) beducht voor de beschadiging van de weg.

We hebben reeds aangegeven dat het meetgebied ca. 400 cm<sup>2</sup> groot moet zijn. Wanneer men dit gebied *ineens* wil meten, dan heeft men, wegens de eisen aan de evenwijdigheid van de lichtbundels, een zeer grote installatie nodig die in een laboratorium al moeilijk is te plaatsen, maar op de weg (dynamisch) al helemaal niet kan worden gebruikt.

Gekozen is daarom voor een kleine opstelling waarbij het meetgebied slechts enige cm<sup>2</sup> bedraagt. Deze kleine gebiedjes worden *na* elkaar gemeten. Deze opzet laat zich uiteraard gemakkelijk combineren, met de wens naar een dynamisch systeem. Uit praktische overwegingen is tenslotte de *lichtweg* omgekeerd: er wordt een enkele lichtbron gebruikt en een (klein) aantal fotocellen (Schreuder, 1991). Momenteel bestaat een eerste prototype dat volgens deze beginselen is gemaakt. De eerste metingen daarmee zijn intussen uitgevoerd. In par. 7.3.3 is een globale aanzet gegeven voor nader onderzoek op dit terrein.

### 3.5.5. *Het berekenen van de verlichtingssterkte*

De berekening van de verlichtingssterkte is in beginsel zeer eenvoudig. Het is voldoende om gegevens te hebben over de geometrie van de installatie (plaatsingswijze, mastafstand, lichtpunthoogte, wegbreedte en overhang) alsmede over de lichtuitstraling van de te gebruiken armaturen (de lichtsterkteverdeling, de zgn. I-tabel). Men berekent de verlichtingssterkte in afzonderlijke punten van het wegdek. Uit de geometrie zijn voor ieder afzonderlijk armatuur de betreffende hoeken van de lichtinval af te leiden, alsmede de lichtsterkte in die richting. Hieruit is de bijdrage van dat armatuur tot de verlichtingssterkte in dat punt vast te stellen. Somming over alle in aanmerking komende armaturen levert de totale verlichtingssterkte in dat punt; het proces wordt herhaald voor alle punten in het gekozen patroon. Deze werkwijze is identiek voor zowel de horizontale verlichtingssterkte en de verticale verlichtingssterkte, als voor de semicylindrische verlichtingssterkte, mits de hoeken van inval dienovereenkomstig worden aangepast.

### 3.5.6. *Het berekenen van de luminantie*

De CIE heeft een systeem vastgelegd dat algemeen wordt gebruikt voor de berekening van luminanties (CIE, 1976). Dit systeem heeft geleid tot een computerprogramma. Het CIE-programma is reeds vele jaren geleden ontworpen, en is daarom niet erg modern. De basis ervan is echter nog steeds onverminderd bruikbaar. Er zijn vele varianten in omloop die gemeen hebben dat ze geschikt zijn voor gebruik op PC's; verder zijn er nogal wat detail-verschillen tussen al die programma's.

De grondslag van alle programma's is echter gelijk. Daarbij wordt het volgende schema gebruikt.

- de waarnemingspositie wordt gekozen (volgens bepaalde regels);
- voor ieder punt van de weg wordt per lichtpunt de horizontale verlichtingssterkte berekend; hiervoor moet de geometrie van de installatie, de geometrie van waarnemer en wegdekpunt, en de lichtsterkteverdeling (de zgn. I-tabel) van het betreffende armatuur bekend zijn;
- voor dat punt en voor dat armatuur wordt de luminantie bepaald; daarvoor moeten de kenmerken van de reflectie van het wegdek (de zgn. R-tabel) bekend zijn; deze berekening is vrij gecompliceerd omdat voor de meeste punten van het wegdek in de R-tabel moet worden geïnterpoleerd;
- de luminantiebijdragen van de afzonderlijke armaturen worden gesommeerd; er zijn bepaalde regels over de aantallen armaturen die worden 'meegenomen';
- de gehele procedure wordt herhaald voor andere punten op het wegdek; er zijn bepaalde regels over het aantal en de positie van de punten die worden 'meegenomen'.

Voor de berekeningen alsmede voor de metingen van de luminanties is het nodig om de waarnemingscondities precies vast te leggen. Het door de CIE vastgestelde systeem geeft de volgende condities:

- de gemiddelde luminantie wordt bepaald vanaf een enkel punt op de weg;
- dit punt ligt hetzij op een kwart van de wegbreedte (aan de kant van de weg waar het verkeer rijdt, dus in Nederland op een kwart van de rechterzijkant van de weg) of op het midden van elke rijstrook;
- de waarnemer bevindt zich op een hoogte van 1,50 meter boven het wegoppervlak;
- het gebied waarover de luminantie wordt bepaald, strekt zich van 60 meter tot 160 meter voor de waarnemer uit;
- het gebied strekt zich in de breedte over de gehele weg uit of over de gehele rijstrook (naar gelang de gekozen meetpositie).

## 3.6. **De kwantificering van openbare verlichting**

### 3.6.1. *De kwaliteitscriteria*

Openbare verlichting verschaft de mogelijkheid voor een redelijke afwikkeling van het wegverkeer, ook bij afwezigheid van (natuurlijk) daglicht. Voor motorvoertuigen met eigen verlichting mag men aannemen dat de koplantaarns de afwikkeling van het verkeer (het volgende van de route en het vinden van de weg daarbij inbegrepen) op een gewoonlijk nog juist acceptabele wijze kunnen waarborgen. Voor fietsers is dit nauwelijks

het geval, terwijl voor voetgangers alle informatie door de openbare verlichting moet worden verschaft.

Meer specifiek onderscheidt men vier functies van de openbare verlichting;

- bevorderen van de doorstroming van het verkeer
- bevorderen van de verkeersveiligheid
- bevorderen van de burgerlijke of openbare veiligheid
- bevorderen van de leefbaarheid.

De eerste is vooral van belang voor wegen met een verkeersfunctie; de tweede zowel voor wegen met een verkeersfunctie als voor die met een verblijfsfunctie. De derde en vierde zijn vooral voor woongebieden van belang. In par. 4.1 gaan we verder in op deze functies.

De kwaliteit van de openbare verlichting kan worden uitgedrukt in een aantal, soms kwantificeerbare, aspecten:

- **Het *lichtniveau*.** Dit wordt uitgedrukt in de gemiddelde helderheid van de weg (de wegdekluminantie), of - meer speciaal voor woonstraten - de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte. Als regel wordt gemiddeld over een weggedeelte tussen twee opeenvolgende lichtmasten.
- **De *ongelijkmatigheid*.** De verdeling van de helderheid over de weg is in twee opzichten van belang. Ten eerste de zogenaamde dwarsongelijkmatigheid: wanneer de verlichting op de weg opvallende, afwisselend lichte en donkere, strepen in de lengterichting vertoont, zoals vaak te zien is op natte gladde wegen, kunnen smalle hoge objecten als fietsers of voetgangers geheel onzichtbaar worden. Dit is een veiligheidsaspect. Dit aspect wordt gekwantificeerd door verhouding van minimum en gemiddelde wegdekluminantie. Een tweede punt van belang is de algemene ongelijkmatigheid; dit is de mate waarin de weg een 'vlekkerige' indruk maakt. Dit is eerder een esthetische of een 'comfort'-zaak dan een van de verkeersveiligheid. Deze vlekken uiteten zich in banen of strepen die een storende indruk maken zonder de waarneembaarheid sterk te benadelen. Dit aspect wordt meestal gekwantificeerd door een overeenkomstige verhouding, meestal recht voor de waarnemer of over het midden van een rijstrook.
- **De *verblinding*.** In het verleden is zeer veel aandacht besteed aan de verblinding. Vooral door de steeds verder doorzettende trend dat overal, ook op goed verlichte wegen, met dimlicht moet worden gereden, neemt de belangstelling voor het beperken van de door de openbare verlichting veroorzaakte verblinding - die bijna steeds veel lager is dan die veroorzaakt door autokoplantaarns - af. Verblinding kan eveneens in bepaalde fysische grootheden worden uitgedrukt.
- **De (*visuele of optische*) geleiding.** Hieronder wordt verstaan de bijdrage die de verlichtingsinstallatie kan leveren tot het vormen van een beeld over het verloop van de weg. Behalve de groepering van de armaturen en masten van de openbare verlichting dragen vooral wegmarkeringen tot de geleiding bij. Een methode om de geleiding te kwantificeren bestaat (nog) niet. Bij het ontwerpen van verlichtingsinstallaties wordt helaas aan de geleiding maar weinig aandacht besteed. Verlichtingsinstallaties die in de praktijk zijn mislukt, geven aan dat dit een onjuiste gewoonte is. Een ontwerphulpmiddel om goede geleiding te kunnen waarborgen, bestaat echter al evenmin.

### 3.6.2. De samenhang tussen de kwaliteitscriteria

Zoals in par 3.6.1 is aangegeven, wordt de verlichtingstechnische kwaliteit van openbare verlichting afgemeten naar drie criteria: het luminantieniveau, de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon, de mate waarin verblinding begrensd is. In de praktijk wordt hieraan meestal nog een vierde criterium toegevoegd: de *visuele of optische geleiding*. Aangezien voor dit laatste criterium nog geen methode bestaat waarmee het kan worden gekwantificeerd, wordt het in de regel weggelaten uit de aanbevelingen en standaarden. Wel komt men vaak weer terug op dit criterium bij de voorbeelden, voor zover ze aan de aanbevelingen worden toegevoegd. Nadere gegevens over de optische geleiding, en de wijzen waarop een goede geleiding gerealiseerd kan worden, zijn te vinden in De Boer (ed.) (1967), Springer & Huizinga (1969, 1974); Schreuder (1967) en Van Bommel & De Boer (1980). Meer recent is door Boselie en Van Leeuwen aandacht besteed aan de optische geleiding in verband met de verlichting van de ingang van verkeerstunnels (Anon, 1987). Zie ook Schreuder (1992a).

Aan ieder van deze vier criteria zijn (meestal kwantitatieve) eisen gesteld, maar over het relatieve belang van deze vier criteria is weinig bekend; ze zijn bijna steeds onafhankelijk van elkaar beschouwd. Aanbevelingen en richtlijnen worden steeds van ieder criterium apart opgegeven. Er zijn op dit gebied slechts enige oriënterende onderzoeken uitgevoerd. Dit onderzoek suggereert dat het luminantieniveau van grotere invloed is op het totale kwaliteitsniveau dan de ongelijkmatigheid of de verblinding. Nederlands onderzoek heeft tot de volgende relatie geleid:

$$AI = 0,6 N + 0,2 G + 0,2 V$$

Daarbij is AI de algemene indruk; N, G en V zijn de subjectieve beoordelingen van niveau, gelijkmatigheid en verblinding (Schreuder, 1983). Ook Engels onderzoek is beschikbaar. Daar is een ingewikkelder relatie gevonden, waarin ook de visuele geleiding (VG) is betrokken:

$$AI = 0,55 N + 0,04 V + 0,14 G + 0,45 VG - 1,29 \text{ (droge weg)}$$

$$AI = 0,36 N + 0,10 V + 0,40 G + 0,23 VG - 0,59 \text{ (natte weg)}$$

Het gaat hierbij om relaties tussen de algemene indruk en andere subjectieve beoordelingen, en niet om de relatie tussen de algemene indruk en objectieve (fotometrische) grootheden, hetgeen voor verdergaande generalisaties wenselijk ware (Cornwell, 1973). Dit resultaat is een ondersteuning om wat betreft het algemene kwaliteitscriterium in de eerste plaats naar het luminantieniveau te kijken. Dit wordt verder ondersteund door de resultaten van het in Engeland uitgevoerde onderzoek, waar de ongevallen gerelateerd zijn aan een aantal verschillende fotometrische grootheden. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de ongevallen alleen een duidelijke relatie vertonen met de gemiddelde wegdek-luminantie, terwijl de andere fotometrische kwaliteitscriteria geen aantoonbare relatie met de ongevallen vertoonden.

Ook de hierboven reeds genoemde 'vraagkant' van de waarneembaarheid geeft de suggestie om allereerst naar de gemiddelde wegdek-luminantie te kijken. Men mag immers verwachten dat OV meer 'helpt' wanneer zij 'beter' is. Immers, zeer globaal samengevat:

de visuele prestatie neemt toe bij toeneming van het lichtniveau. De visuele prestatie kan worden uitgedrukt in vele verschillende visuele functies en het lichtniveau in verscheidene fotometrische maten; de globale 'regel' blijkt te gelden voor alle maten voor visuele prestatie, als ook voor alle maten van het lichtniveau. Bovendien zijn er redenen om aan te nemen dat de verkeersprestatie toeneemt als de visuele prestatie toeneemt. En evenzeer zijn er redenen om aan te nemen dat de veiligheid van het wegverkeer wordt bevorderd door een betere verkeersprestatie van de verkeersdeelnemers. Ook al lijken deze twee relaties erg voor de hand te liggen, geen van beide is op een behoorlijke wijze onderbouwd, terwijl er ernstige vermoedens bestaan dat ze soms gewoon niet opgaan. Als voorbeeld: de relatie tussen visuele prestaties en het als autobestuurder betrokken zijn bij verkeersongevallen is zeer zwak en wordt door velen als voor de praktijk te verwaarlozen beschouwd. Het is echter overduidelijk dat de relatie met de verkeersprestatie anders is: blinden en mensen met ernstige visuele handicaps kunnen moeilijk of soms helemaal niet zelfstandig aan het verkeer deelnemen, en zeker niet als bestuurder van een motorvoertuig.

### 3.7. Nieuwe ontwikkelingen

#### 3.7.1. Verkeersverlichting

De grondgedachte van alle verkeersverlichting is het zodanig aanbrengen van verlichtingsmiddelen dat de daglichtsituatie zo goed mogelijk wordt nagebootst (de algemene verlichting). Naast de verlichting zijn ook signalering en markering van belang. De verlichtingsmiddelen kunnen aan de voertuigen (voertuigverlichting) of aan de weg (openbare verlichting) bevestigd zijn.

#### 3.7.2. Openbare verlichting

##### 3.7.2.1. De techniek

Op het gebied van de techniek van de openbare verlichting zijn geen schokkende veranderingen te verwachten. In het verleden heeft de introductie van nieuwe lichtbronnen een aantal malen de techniek van de openbare verlichting diepgaand beïnvloed. Te denken is aan de overgang van gloeilampen naar gasontladingslampen en aan de introductie van SOX-lampen, daarna de introductie van SON-lampen, en meer recent de introductie van compacte fluorescentielampen. Ieder van deze introducties betekende een omwenteling in de toepassing. Een dergelijke gebeurtenis is binnen afzienbare tijd niet te verwachten. Ook niet de eventuele introductie van de QL-lamp; dit is in feite een dure, weinig efficiënte hogedruk-kwiklamp. Het enige voordeel is de lange levensduur, zodat de lamp kan worden gebruikt op plaatsen waar lampvervanging zeer moeilijk is. In de openbare straatverlichting is dit om twee redenen geen overweging van belang:

- naast de kosten zijn er nauwelijks probleempunten bij lampvervanging;
- de sterke vervuiling van de armaturen van de openbare verlichting maakt regelmatig onderhoud van de installatie toch noodzakelijk.

Wat betreft de lichtbronnen zijn er wel verbeteringen te verwachten in de lichtopbrengst en de kleurweergave, en mogelijk in de uitbreiding van het assortiment. Deze veranderingen zijn echter steeds geleidelijk en meestal zeer klein.

Wat betreft de armaturen geldt hetzelfde. Er is sprake van een geleidelijke, steeds doorgaande verbetering van details wat betreft lichtsterkteverdeling, optische karakteristieken, levensduur, bestandheid tegen vuil en water enz. Ook hier zijn belangrijke, schokkende veranderingen niet te verwachten. Wel betekent het dat de door de industrie te verschaffen gegevens ten behoeve van rekenprogramma's en andere ontwerp hulpmiddelen regelmatig moeten worden herzien. Er is wellicht behoefte aan een systeem waarmee kan worden voorkomen dat met verouderde gegevens wordt gewerkt.

### 3.7.2.2. Het beheer

Bij het beheer van de openbare verlichting komen twee aspecten aan de orde: de taak van de beheerder, en de middelen die ter beschikking staan om het beheer naar behoren te kunnen uitvoeren. We zullen zeer in het kort op deze materie ingaan; over het eerste punt is meer te vinden in Schreuder (1992b); over het tweede in Guldemond (1992) en Steenks (1992). Er zij op gewezen dat de NSVV een rapport in voorbereiding heeft dat nader op deze materie ingaat, en waarbij de nadruk komt te liggen op het belang van goede (gemeentelijke) beleidsplannen. Dit punt is ook door Steenks (1992) besproken.

#### *A. Taak van de beheerder van de verlichting*

Openbare verlichting wordt gefinancierd uit de openbare middelen. Beleidmakers stippen het beleid uit, nemen de beslissingen over het beleid en kennen de middelen voor de uitvoering van het beleid toe. Beleidmakers worden via het politieke stelsel verkozen. Voor het beheer worden ambtenaren benoemd op basis van hun kennis. Er ontstaat dus een spanningsveld tussen de beleidmakers enerzijds die de beleidsdoelstelling opstellen en de middelen ter beschikking stellen, en de beheerders anderzijds, die, met als randvoorwaarde de beschikbare middelen, de taak hebben de beleidsdoelstellingen uit te voeren.

Een van de randvoorwaarden wordt gesteld door de relatie met het milieubeheer. Het Nederlandse milieubeleid is gebaseerd op de gedachte van de 'duurzame' samenleving. Bij de uitvoering komen twee hoofdlijnen naar voren:

1. *De vervuiler betaalt.* Dit betekent dat kosten die nodig zijn om de druk op het milieu te verminderen, tot de exploitatiekosten moeten worden gerekend.
2. *Integraal ketenbeheer.* Dit betekent dat bij een activiteit die het milieu kan belasten, wordt gekeken naar de gehele keten van vervaardiging, gebruik en verwijdering. Sommige beleidsmiddelen zijn brongericht, sommige zijn effectgericht. Concreet betekent dit onder meer dat de verwerking van afval tot de exploitatie moet worden gerekend. Zie verder onder B van deze paragraaf.

Een probleem dat in Nederland weinig aandacht krijgt is het stoorlicht. De duisternis, die van nature bij de nacht hoort, wordt verstoord en verdwijnt soms helemaal. Bestrijding van stoorlicht is niet alleen van belang voor het milieu, maar ook voor de economie. Stoorlicht is verspild licht; er is energie voor gebruikt, er is geld voor betaald, en het wordt 'weggegooid'.

De verlichtingsbeheerder heeft aan de ene kant te maken met beleidmakers en aan de nadere kant met ontwerpers en uitvoerders. Naast vele vragen en problemen van niet-technische aard, moet de beheerder kunnen oordelen over de lichttechnische en kosten-technische aspecten van het ontwerp.



### B. *Beheersplannen*

In het verleden bleef het beheer van openbare verlichting vaak beperkt tot het per straat plaatsten van masten met armaturen en lampen, en het periodiek (al dan niet in groepsremplace) vervangen van de lampen. Gebleken is dat zulks vaak weinig efficiënt is. Moderne beheersplannen, gebaseerd op het - gewoonlijk per PC - automatisch verwerken van gegevens bieden de mogelijkheden van aanzienlijke besparingen in energiegebruik en in kosten (Guldemon, 1992a). Een modern beheer is gebaseerd op de volgende stappen:

- inventarisatie en classificatie van de wegen in het beheersgebied;
- bepaling van de verlichtingsklasse per straat, gewoonlijk op basis van de NSvV-aanbevelingen;
- maken van een schetsontwerp voor de verlichting per straat;
- groeperen van deze gegevens tot een algemeen verlichtingsplan van het beheersgebied;
- incorporeren van onderhoud, voorraadbeheer, tariefstelling enz. in het ontwerp;
- incorporeren van milieu-aspecten (afvalverwerking) in het ontwerp;
- selecteren van de economisch en energetisch optimale oplossing van het ontwerp;
- inventariseren van de bestaande situatie;
- opstellen van een plan van invoering van het ontwerp, gegeven de stand van zaken van het moment, de noodzaak van het verkrijgen en handhaven van een bruikbare verlichting, en rekening houdend met de mogelijkheden van financiering.

#### 3.7.2.3. Aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid

##### A. *De situatie in Nederland*

In het verleden waren kwesties van verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid wat betreft de openbare verlichting zeer eenvoudig. Ook het oude Burgerlijk Wetboek gaf aan dat ieder verantwoordelijk is voor het onder hem gestelde, personen en zaken. In de praktijk moest iemand die schade leed ten gevolge van onvoldoende verlichting, de schade zelf dragen. Er werd steeds verwezen naar de eigen verantwoordelijkheid om zich zodanig te gedragen dat de schade vermeden kon worden. Dit gold voor alle schade: verkeersongevallen, inbraken, overvallen, verkrachtingen enz. Alleen in geval van opzet of grove nalatigheid was (een deel van) de schade op de beheerder van de verlichting te verhalen.

Deze situatie is in 1990 met het van kracht worden van Nieuw Burgerlijk Wetboek (NBW) veranderd. Meer in het bijzonder het begrip 'produktaansprakelijkheid' is sterk verzwakt. Dit heeft consequenties voor de openbare verlichting. Volgens de nieuwe inzichten kan een weggebruiker die een ongeval op de weg krijgt ten gevolge van slechte verlichting de overheid aansprakelijk stellen indien hij kan aantonen dat de overheid door het niet plaatsen van de 'juiste' verlichting een *nalaten* heeft 'begaan'. Dit nalaten is dan volgens opvattingen in het maatschappelijk verkeer en jurisprudentie een geval van *gevaarzetting* (artikel 6:162 lid 2 NBW). Het betreft dan een onrechtmatige overheidsdaad. Bij een eis tot schadevergoeding kan de overheid in kwestie als procespartij worden gedaagd. De overheid in kwestie is het bevoegd gezag, dus meestal de Gemeente, daarbij vertegenwoordigd door B&W. In de praktijk is te verwachten dat de beheerder van de verlichting in geval van een rechtsgeding, de gegevens zal dienen te verschaffen. Uitbesteden van ontwerp en/of onderhoud van de verlichting vermindert deze aansprakelijkheid niet.

Wanneer er geen voorgeschreven advies noch een hoger besluit bestaat tot het realiseren van verlichting van een bepaalde kwaliteit, ligt de verantwoordelijkheid om zulks te doen bij de overheid in kwestie. Wanneer ongevallen e.d. plaats vinden die aan slechte verlichting te wijten zijn, is dit besluit alleen aan te vechten via de (moeilijker weg van de) AROB-procedure.

Omdat de situatie nog vrij nieuw is, bestaat er nog geen duidelijkheid wat het hierboven gebruikte begrip 'juiste verlichting' precies betekent. Vaak wordt aangenomen dat dit betekent: de verlichting die in opdracht van een hoger overheidsorgaan en eventueel via een bestemmingsplan is geplaatst, en waarvan de kwaliteit voldoet aan de door deskundigen vastgestelde voorwaarden. Vaak wordt daarbij verwezen naar de Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, waarbij de NSvV dus als de bedoelde deskundige fungeert. Ook is er nog weinig te zeggen over rol welke de staat van onderhoud van de verlichting hierbij speelt. Vroeger waren er alleen problemen voor de overheid wanneer er sprake was van opzet of grove nalatigheid. Verwacht mag worden dat het schadebedrag dat van de overheid kan worden geëist, lager is wanneer kan worden aangetoond dat de verlichtingsinstallatie goed en zorgvuldig is onderhouden. We moeten daarbij bedenken dat verantwoordelijkheid, aansprakelijkheid en de toe te wijzen schadevergoeding niet identiek zijn.

#### *B. De Europese richtlijnen*

Mede ten dienste van het afbouwen van de handelsbarrières ten behoeve van de gemeenschappelijke Europese markt heeft de Economische Commissie ('Brussel') een aantal verstreckende besluiten genomen. In het kort komen die erop neer dat na 1992 alle produkten die in Europa op de markt worden gebracht van een keurmerk moeten zijn voorzien. De keurmerken worden verleend onder auspiciën van de Economische Gemeenschap; het opstellen van de keuringseisen en van de keuringmethoden is opgedragen aan de CEN (Centre Européen de Normalisation).

De eerste stap voor de harmonisatie is het opstellen van een CEN-norm. Voor vele produkten bestaan reeds CEN-normen, zoals bijvoorbeeld voor lichtmasten. Bestaat er voor een bepaald produkt geen CEN-norm dan wordt die opgesteld op basis van ISO-standards. Wanneer die er ook niet zijn, komen de aanbevelingen en richtlijnen van de professionele organisaties aan de beurt. En hierbij speelt - voor het verlichtingsgebeuren - de CIE een belangrijke rol, zeker in haar functie als ISO Standardizing Body. Zo worden de CEN-normen voor straat- en tunnelverlichting, voor verkeerslichten en voor wegmarkeringen gebaseerd op de betreffende CIE-publikaties.

Het uiteindelijke oogmerk van de EC voor al deze activiteiten is meer dan alleen het wegnemen van handelsbelemmeringen tussen de lidstaten, maar ook het bevorderen van de veiligheid van de inwoners. Dit wordt nagestreefd door de uit dit werk naar voren komende CEN-normen op te nemen in European Directives; dit zijn stukken, bekrachtigd door de Europese Commissie, die bindend zijn voor de lidstaten. Momenteel is nog niet precies duidelijk wat dit betekent, maar in vele gevallen zal het erop neer komen dat niet alleen in nieuwe toestand aan de CEN-normen (bijvoorbeeld via een typekeuring) moet worden voldaan, maar dat alle installaties gedurende hun gehele 'leven' op elk moment aan de richtlijnen moeten voldoen.

Voor de praktijk van de openbare verlichting betekent dit drie dingen:

Ten eerste moeten alle verlichtingsinstallaties worden ontworpen in overeenstemming met de norm.

Ten tweede moeten alle installaties zodanig worden onderhouden dat ze blijven voldoen.

Ten derde is het voor de regeling van de aansprakelijkheid bij eventuele ongevallen of misdrijven van belang dat duidelijk kan worden aangetoond dat het onderhoud 'naar behoren' is en wordt uitgevoerd.

### 3.7.3. Voertuigverlichting

#### A. Nieuwe tendensen

Voor de verlichting van de weg zijn motorvoertuigen voorzien van hoofdlicht en dimlicht. Het hoofdlicht is een soort van schijnwerper, dat alleen op wegen zonder ander verkeer kan worden gebruikt. Er zijn nauwelijks beperkingen wat betreft de lichttechnische karakteristieken; aangezien het hoofdlicht in het huidige drukke verkeer in landen als Nederland nauwelijks gebruikt kan worden, blijft het hier buiten beschouwing.

Anders is het met het dimlicht. De gangbare typen dimlicht zijn niet te beschouwen als een optimaal compromis tussen 'veel verlichten' en 'weinig verblinden', met name niet voor drukke (stad)straten die van openbare verlichting zijn voorzien. Voor wegen buiten bebouwingen, zeker wanneer ze een geringe verkeersbelasting hebben, is het huidige dimlicht een redelijke oplossing. Bij hoge snelheid waarborgt het dimlicht echter geen hoge graad van verkeersveiligheid.

Men streeft dan ook naar een verbetering van de situatie. Enige nieuwe ontwikkelingen zijn:

- plastic lenzen
- ellipsoïde reflectoren
- hoge-druk ontladingslampen.

Deze drie ontwikkelingen hebben gemeen dat ze uitgaan van een ideale omstandigheid, waarbij het zinvol is om het compromis tussen 'veel verlichten' en 'weinig verblinden' nog verder toe te scherpen. Daarbij wordt aan een aantal (versturende) factoren uit de praktijk voorbij gegaan:

- de wegen zijn niet recht en vlak, maar bochtig, hellend, golvend en tonrond;
- de atmosfeer is niet helder, maar vervuld met lichtverstrooiende deeltjes (mist, stof, regen enz);
- de auto's staan niet stil, maar rijden, hobbelen, draaien enz.;
- de auto's zijn niet leeg, maar beladen en vaak zwaar beladen.

Deze factoren maken iedere verscherping van het compromis tot een illusie. In feite is het compromis zoals het door de gangbare Europese asymmetrische E-dimbundel wordt geleverd, al aan de rand van het bruikbare, terwijl de ook gangbare halogeen-bundel H4 in vele opzichten al over het optimum van het compromis heen is, met name wat betreft de verblinding. Te verwachten is dat de introductie van deze nieuwe produkten zal leiden tot een verdere toename van de toch al sterke verblinding. Dit kan de verkeersveiligheid nauwelijks dienen (Schreuder & Lindeijer, 1987; Schoon & Schreuder, 1992).

In andere opzichten kan de eventuele introductie van hogedruk- gasontladingslampen voordelen hebben:

- de lichtverdeling kan 'breder' worden gemaakt; dit is van belang voor het rijden op bochtige, onverlichte wegen;
- de levensduur is langer;
- de lichtopbrengst is veel hoger, zodat bij gelijke verlichting het energiegebruik lager kan zijn;
- de toepassing van gepolariseerd licht wordt mogelijk; dit kan een grote verbetering geven in de nachtelijke situatie;
- ultraviolette straling kan onder bepaalde omstandigheden de 'verlichting' verbeteren bij afnemende verblinding.

Ook op het gebied van signaallichten zijn nieuwe ontwikkelingen in gang. Genoemd kan worden de toepassing van lichtuitstralende diodes (LED's), en verbeteringen in de positie en functie van achterlichten op auto's. Ook verbeteringen in de eigenschappen en toepassingen van retroreflecterende materialen is van belang.

### *B. Discussie*

De verlichting van voertuigen en de mogelijke verbeteringen daarin zijn in drie opzichten van belang voor de openbare verlichting:

1. De hoge eisen die aan openbare verlichting worden gesteld, zijn voor een belangrijk gedeelte het gevolg van de noodzaak om een redelijke waarneembaarheid te waarborgen ook wanneer er van een sterke verblinding door autokoplantaarns sprake is. Bij een wezenlijke vermindering van de verblinding kunnen de eisen aan de openbare verlichting verminderd worden, hetgeen weer tot besparingen in kosten en in energiegebruik kan leiden.
2. Openbare verlichting op wegen buiten de bebouwde kom is geïndiceerd wanneer de verlichting door autokoplantaarns onvoldoende is. Verbetering van de voertuigverlichting door betere aanstraling van de weg, en/of vermindering van de verblinding kan betekenen dat het wegen waarvoor men nu verlichting noodzakelijk acht, onverlicht kunnen blijven. Ook dit kan tot besparingen in kosten en in energiegebruik leiden.
3. Betere signalering en markering van voertuigen en obstakels (door verlichting en/of retroreflecterende materialen) kan de waarneembaarheid verbeteren. Bij een wezenlijke verbetering van de waarneembaarheid kunnen de eisen aan de openbare verlichting verminderd worden, hetgeen weer tot besparingen in kosten en in energiegebruik kan leiden.

### *3.7.4. Wegmarkeringen*

Wegmarkeringen dienen als ondersteuning voor voertuigen om hun (dwars-) positie op de weg te kunnen handhaven. Daarenboven hebben wegmarkeringen nog andere functies, zoals het overbrengen van gebods- en verbodsbepalingen, markeren van oversteekplaatsen, fietsstroken en voorsorteervakken, ondersteunen van de routekeuze enz. Problemen bij de waarneembaarheid van wegmarkeringen doen zich vooral bij duisternis op natte wegen voor, meer in het bijzonder op wegen zonder openbare verlichting. Zie par. 3.4.2.4 Maar het wordt steeds duidelijker dat wegmarkeringen ook overdag en bij openbare verlichting niet altijd goed zichtbaar zijn. Momenteel wordt veel aandacht besteed aan nieuwe ontwikkelingen van het grootste deel uitvloeisels uit de studies van SvT en C.R.O.W. (Anon, 1982; C.R.O.W., 1987).

Verbetering van de nacht-nat-zichtbaarheid wordt vooral gevonden in het aanbrengen van markeringen of markeringselementen die boven de waterlaag op de weg kunnen uitsteken. Hierover is veel onderzoek gedaan, hetgeen is samengevat in Anon (1982), C.R.O.W. (1987) en Schreuder (1980a). Voor onverlichte wegen zoekt men de oplossing in steeds betere retroreflecterende eigenschappen.

Op verlichte wegen kan dit uiteraard bezwaren opleveren: retroreflectie doet het licht terugkeren naar de lichtbron, en in de situatie van de openbare verlichting is dat geen 'handige' oplossing. Het is dus gewenst om met deze ontwikkeling rekening te houden, hetzij door de automobielerverlichting navenant aan te passen, of door voor wegen binnen de bebouwde kom - waar de waarneembaarheid van de wegmarkering voor een groot deel wordt gewaarborgd door de openbare verlichting - te zoeken naar markeringsmaterialen die naast de vereiste retroreflectie ook een voldoende mate van diffuse reflectie vertonen. Wordt dit nagelaten dan kan het noodzakelijk blijken te zijn de openbare verlichting aan te passen, en mogelijk te versterken. Dit wordt nu reeds op vele plaatsen gedaan bij zebrapaden (VOP'en), waar aanvullende openbare verlichting nodig is omdat de wegmarkeringen van het zebrapad zelf niet voldoende zichtbaar zijn.

### 3.8. Conclusies uit Hoofdstuk 3

#### 3.8.1. *Conclusies uit het overzicht van de stand van zaken*

- Een aanzienlijk deel van het gemotoriseerde wegverkeer vindt bij duisternis plaats. De verdeling van het verkeer over dag en duisternis verschillen per wijze van verkeersdeelname en per wegtype. Zo bestaat de indruk dat er bij duisternis relatief meer beroepsvervoer (vooral vrachtovervoer) en minder privévervoer. Op autosnelwegen wordt 15 à 20% van het totale verkeer tussen 1900 en 0700 uur afgewikkeld, terwijl dit voor woonstraten veelal niet meer dan 2 à 3% is.
- Duisternis is een aanzienlijke risicoverhogende factor. Ook regen en natte wegen zijn extra risicofactoren. Vooral bij de combinatie van regen en duisternis is het risico aanzienlijk hoger dan bij droog weer overdag. Overdag vindt bijna 80% van de ongevallen bij droog weer plaats en bij regen bijna 9%. In 1991 heeft het, gemiddeld over de stations die de duur van de regenval registreren, 560 uur geregend; dat is 6,4% van de tijd (KNMI, 1992). Het 'overschot' van de regenongevallen is dus 39,7%. Bij duisternis is het percentage voor ongevallen bij regen ongeveer tweemaal zo groot als bij daglicht (16,5%). Onder aanname dat regen bij nacht even frequent is als bij dag, is het 'overschot' van de regenongevallen ruim 158%.
- Openbare verlichting is bij uitstek een hulpmiddel om bij duisternis zowel het 'zien' als het 'gezien worden' te verbeteren
- De verwachting omtrent de waarneembaarheid van objecten hangt af van:
  - de bekendheid met de objecten (algemene ervaring als verkeersdeelnemer);
  - de bekendheid met de situatie (plaatselijke ervaring van de verkeersdeelnemer).De waarneming van de objecten hangt af van:
  - de waakzaamheid van de waarnemer (arousal);
  - de oplettendheid van de waarnemer (alertness).

- Bij het vervullen van de rijtaak speelt het verwerken van informatie (van waarnemingen) een essentiële rol.
- Manoeuvres kunnen worden ingedeeld in twee groepen:
  - stuurmanoeuvres;
  - uitwijkmanoeuvres.
- De minimale waarde van de zichruimte voor 90 km/uur moet voor verschillende manoeuvres de volgende waarden hebben:
  - dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook: 75 meter
  - snelheid kiezen 75 meter
  - stoppen voor discontinuïteit 175 meter
  - nemen van een bocht 375 meter
  - noodmanoeuvre: uitwijken 125 meter
  - idem: noodstop 140 meter
- Voor stuurmanoeuvres kunnen drie groepen van voorwerpen als visueel kritische elementen optreden:
  - voorwerpen behorende tot het wegmeubilair (lichtmasten, bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeerstekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten);
  - voorwerpen behorende tot de weg zelf (wegmarkeringen);
  - andere verkeersdeelnemers (met name voorliggers).
- Voor uitwijkmanoeuvres gaat het om twee groepen van voorwerpen die als risicodragende elementen kunnen optreden:
  - stationaire voorwerpen (obstakels; stilstaande auto's; stenen en dozen op de weg; verloren lading en verloren auto-onderdelen, maar ook lichtmasten, brugpijlers, bomen, gaten in de weg enz.);
  - bewegende voorwerpen (verkeersdeelnemers, meer in het bijzonder kruisend verkeer, maar ook - vooral langzaam rijdende - voorliggers).
- De waarneembaarheid van een object hangt in beginsel van drie dingen af:
  - de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz.);
  - het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
  - de adaptatietoestand (de 'gevoelheidsinstelling' van het visuele systeem).
- De gemiddelde wegdek luminantie is gekozen als belangrijkste ingang voor aanbevelingen en richtlijnen voor openbare verlichting, en ook als belangrijkste grootte voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties voor wegen die uitsluitend of in hoofdzaak voor het (gemotoriseerde) snelverkeer bedoeld zijn.
- De meting van de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek levert geen bijzondere problemen op.
- In beginsel is het niet moeilijk om de luminantie van de weg te meten. In de praktijk blijkt het echter feitelijk onmogelijk te zijn. Een nieuwe methode is essentieel en dringend noodzakelijk. De eerste aanzet hiervoor is gegeven.

- Ook de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken blijkt in de praktijk feitelijk onmogelijk te zijn. Ook hier is een nieuwe methode essentieel en dringend noodzakelijk. De eerste aanzet hiervoor is gegeven. De keuze is daarbij gevallen op een dynamische meting in situ. Hiervoor is gekozen om de volgende redenen:
  - bij het huidige drukke verkeer is het nauwelijks meer mogelijk om de weg af te zetten voor het trekken van boorkernen of het uitvoeren van metingen;
  - de kosten voor het boren, het herstellen van de weg, en voor het transport van de kernen zijn niet onaanzienlijk;
  - de kernen kunnen tijdens het boren, het transport of de opslag beschadigd worden of op andere wijze wat betreft hun kenmerken veranderen;
  - wegbeheerders zijn (niet ten onrechte overigens) beducht voor de beschadiging van de weg.
- De berekening van de verlichtingssterkte is in beginsel zeer eenvoudig. Het is voldoende om gegevens te hebben over de geometrie van de installatie (plaatsingswijze, mastafstand, lichtpunthoogte, wegbreedte en overhang) alsmede over de lichtuitstraling van de te gebruiken armaturen (de lichtsterkteverdeling, de zgn. I-tabel).
- Bij de berekening van luminanties met behulp van het CIE-programma of met een van de afgeleiden wordt het volgende schema gebruikt.
  - de waarnemingspositie wordt gekozen (volgens bepaalde regels);
  - voor ieder punt van de weg wordt per lichtpunt de horizontale verlichtingssterkte berekend; hiervoor moet de geometrie van de installatie, de geometrie van waarnemer en wegdekpunt, en de lichtsterkteverdeling (de zgn. I-tabel) van het betreffende armatuur bekend zijn;
  - voor dat punt en voor dat armatuur wordt de luminantie bepaald; daarvoor moeten de kenmerken van de reflectie van het wegdek (de zgn. R-tabel) bekend zijn; deze berekening is vrij gecompliceerd omdat voor de meeste punten van het wegdek in de R-tabel moet worden geïnterpoleerd;
  - de luminantiebijdragen van de afzonderlijke armaturen worden gesommeerd; er zijn bepaalde regels over de aantallen armaturen die worden 'meegenomen';
  - de gehele procedure wordt herhaald voor andere punten op het wegdek; er zijn bepaalde regels over het aantal en de positie van de punten die worden 'meegenomen'.

### 3.8.2. Conclusies aangaande de nieuwe ontwikkelingen

- Op het gebied van de techniek van de openbare verlichting zijn geen schokkende veranderingen te verwachten.
- Wat betreft de lichtbronnen zijn er verbeteringen te verwachten in de lichtopbrengst en de kleurweergave, en mogelijk in de uitbreiding van het assortiment. Deze veranderingen zijn echter steeds geleidelijk en meestal zeer klein.
- Wat betreft de armaturen zijn geleidelijke, steeds doorgaande verbeteringen van details wat betreft lichtsterkteverdeling, optische karakteristieken, levensduur, bestandheid tegen vuil en water enz. te verwachten.

- Enige nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de voertuigverlichting zijn:

- plastic lenzen
- ellipsoïde reflectoren
- hoge-druk ontladingslampen.

Deze drie ontwikkelingen hebben gemeen dat ze uitgaan van een ideale omstandigheid, waarbij het zinvol is om het compromis tussen 'veel verlichten' en 'weinig verblinden' nog verder toe te scherpen. Daarbij wordt aan een aantal (versturende) factoren uit de praktijk voorbij gegaan:

- de wegen zijn niet recht en vlak, maar bochtig, hellend, golvend en tonrond;
- de atmosfeer is niet helder maar vervuld met lichtverstrooiende deeltjes (mist, stof, regen enz);
- de auto's staan niet stil, maar rijden, hobbelen, draaien enz.;
- de auto's zijn niet leef, maar beladen en vaak zwaar beladen.

- De toepassing van hoge-druk ontladingslampen (HID-lampen) kan zekere voordelen hebben:

- de lichtverdeling kan 'breder' worden gemaakt; dit is van belang voor het rijden op bochtige, onverlichte wegen;
- de levensduur is langer;
- de lichtopbrengst is veel hoger zodat bij gelijke verlichting het energiegebruik lager kan zijn;
- de toepassing van gepolariseerd licht wordt mogelijk; dit kan een grote verbetering geven in de nachtelijke situatie;
- ultraviolet straling kan onder bepaalde omstandigheden de 'verlichting' verbeteren bij afnemende verblinding.

- Ook op het gebied van signaallichten zijn nieuwe ontwikkelingen in gang. Genoemd kan worden de toepassing van lichtuitstralende diodes (LED's), en verbeteringen in de positie en functie van achterlichten op auto's. Ook verbeteringen in de eigenschappen en toepassingen van retroreflecterende materialen is van belang.

### 3.9. Onbeantwoorde vragen

Uit deze paragrafen komen een aantal onbeantwoorde vragen naar voren. We zullen ze hier kort samenvatten; een deel ervan komt in het verdere onderzoek aan de orde (Hoofdstuk 7).

- Hoe is de verdeling van het verkeer over het etmaal? Hoeveel meer beroepsvervoer (vrachtvervoer) is er? Hoe is dat over de wegen verdeeld? En hoe is het met de verkeerssamenstelling, met name langzaam verkeer (voetgangers en fietsers), en ook de leeftijd van de verkeersdeelnemers?
- Welke objecten moeten waargenomen kunnen worden?
- Wat is de invloed van de motivatie op het verwachtingspatroon?
- Hoe zijn de verschillen tussen 'gewone' manoeuvres en 'nood' manoeuvres te beschrijven?



- Hoe is 'comfortabel rijden' te operationaliseren?
- Hoe kunnen de visuele standaardobjecten worden omschreven en gedefinieerd?
- Welke risicodragende objecten zijn in het verkeer te verwachten?
- Voor welke wegen kan het gemiddelde niveau van de wegdeklluminantie worden gebruikt als de belangrijkste karakteristiek van de wegverlichting?
- Komt meestralende verlichting in aanmerking als een standaardsysteem voor wegverlichting?
- Welke problemen komen voor bij het waarnemen van wegmarkeringen?
- Op welke wijze kan de verblinding worden gekarakteriseerd? Wat is de invloed van de bovenste afsnijhoek van autovoorruiten?
- Hoe kunnen de gangbare computerprogramma's (bijv. die van CIE, RWS, NOVEM en TRB) worden uitgebreid voor bochten, hellingen, kruisingen en voor vochtige en natte wegen?
- Hoe kunnen de programma's worden omgevormd zodat op basis van de gestelde eisen de installaties uitgezocht kunnen worden die eraan voldoen?
- Aan welke eisen moeten luminantiemeters voldoen die voor de afnamecontrole kunnen worden ingezet? En om gedurende de 'levensduur' van een installatie te kunnen bepalen of de installatie nog aan de te stellen eisen voldoet?
- Aan welke eisen moet een reflectiemeter ten behoeve van openbare verlichting voldoen?

## 4. DOELTREFFENDHEID VAN DE OPENBARE VERLICHTING

### 4.1. De functies van openbare verlichting

We hebben eerder aangegeven dat openbare weg- en straatverlichting een aantal functies heeft. Historisch gesproken de oudste ervan betreft het verzekeren van de veiligheid van lijf en eigendom: het voorkomen en bestrijden van criminaliteit. Daarna diende zich het belang van de verlichting aan ter bevordering van de status van de steden, van de bevordering van handel en toerisme: de bevordering van de economie. Meer recent zijn de functies ten behoeve van het gemotoriseerde verkeer erbij gekomen: de bevordering van de doorstroming en van de verkeersveiligheid. Nog recenter is nog een functie in de belangstelling gekomen: het bevorderen van het gevoel van veiligheid (ook wel 'leefbaarheid' genoemd, ofschoon daaronder soms weer een meer esthetisch gevoel wordt verstaan). Wanneer dat gevoel ontbreekt worden bewoners - meer in het bijzonder de bejaarde bewoners, maar ook de bewoonsters - van woongebieden ernstig belemmerd om op straat te komen.

Openbare verlichting is vrijwel steeds functioneel. De hierboven in historisch perspectief genoemde functies kunnen als volgt systematisch worden gegroepeerd:

1. Het gebruik bij duisternis van de openbare ruimten mogelijk te maken (verkeersafwikkeling voor voertuigen en voetgangers).
2. De verkeersveiligheid te verbeteren (verkeersongevallen voorkomen).
3. De burgerlijke veiligheid te verbeteren (misdadpreventie en -bestrijding).
4. Het gevoel van 'verkeersveiligheid' te verbeteren (vooral voor voetgangers en fietsers, meer in het bijzonder voor de bejaarden en de kinderen).
5. Het gevoel van 'burgerlijke veiligheid' te verbeteren (vooral voor voetgangers, meer in het bijzonder voor vrouwen).
6. De esthetische aspecten van de (stedelijke) omgeving te verbeteren (de economische factoren voor handel en toerisme).

De mate waarin aan de ermee verbonden functionele vereisten kan worden voldaan hangt, naast het type weg, verkeer, infrastructuur en bebouwing, af van een aantal verlichtingskundige factoren.

Voor ieder wegtype komt er een andere combinatie uit. Een belangrijke hoofdingeling is gebaseerd op de locatie:

- wegen buiten bebouwde kommen;
- wegen binnen bebouwde kommen.

Een andere indeling is gebaseerd op de functie. Globaal kunnen wegen worden ingedeeld in:

- wegen met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie;
- wegen met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verblijfsfunctie.

De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV heeft voor de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting (NSvV, 1990) een classificatie opgesteld die is gebaseerd op deze hoofdingelingen. Voor de verkeerswegen wordt de kwaliteit uitgedrukt in luminantietermen; voor de verblijfsstraten in de horizontale verlichtingssterkte. Deze hoofdingeling is op basis van verkeers- en wegkenmerken verder onderverdeeld.

In par. 2.2 hebben we reeds gewezen op een nieuwe ontwikkeling wat betreft het in klassen verdelen van wegen:

- wegen met een stroomfunctie;
- wegen met een ontsluitingsfunctie;
- wegen met een verblijfsfunctie.

Aangezien het steeds om dezelfde wegen gaat, en aangezien de grenzen tussen de klassen nooit scherp zijn te trekken, is het vooral een 'kwestie van smaak' welke principes voor classificatie men gebruikt. Het is dan ook niet te verwonderen dat voor verschillende toepassingsgebieden aan verschillende beginselen voor classificatie de voorkeur wordt gegeven.

De classificatie van de NSvV wordt alleen gebruikt voor het bepalen van de gewenste (aan te bevelen) verlichtingsklasse. Een consequentie daarvan is dat de NSvV geen aandacht besteedt aan verblijfsstraten bubeko, die immers veelal onverlicht zijn. Voor onderzoek is soms een van de NSvV-aanbevelingen afgeleide indeling van wegen gebruikt.

#### 4.2. Het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting

In het verleden is het meeste onderzoek beperkt gebleven tot het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting van een behoorlijke kwaliteit op het aantal ongevallen, soms ook op de ernst ervan. Het meeste onderzoek was bovendien beperkt tot urbane wegen die een belangrijke verkeersfunctie hebben. De vragen hoe goed 'behoorlijk' is en wat men mag verwachten voor andere wegtypen, zijn daarbij nog niet beantwoord.

Het bedoelde onderzoek is in een groot aantal, niet steeds toegankelijke, publikaties weergegeven. Overzichten en samenvattingen zijn gemaakt door de CIE (1960), de OECD (1972) en de SWOV. In 1983 publiceerde de SWOV een in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerde literatuurstudie over de relatie tussen de verkeersveiligheid en de openbare verlichting (Schreuder, 1983a). Deze studie is later aangevuld (Schreuder, 1988) en nog eens verder aangevuld (Schreuder, 1990a en 1992c). De resultaten van een en ander zijn nog eens (hernieuwd) bevestigd in een zeer recent CIE-rapport (CIE, 1993).

Het eindresultaat van al deze studies wordt als volgt in een enkele zin uitgedrukt:  
*"Men mag op stedelijke hoofdwegen met in hoofdzaak een verkeersfunctie, een reductie in de nachtelijke letselgevallen verwachten van ca. 30% wanneer de verlichting wordt verbeterd van zeer slecht tot goed".*

Deze gevolgtrekking kan worden omschreven als een resultaat van het samengaan van een groot aantal, ieder voor zich weinig overtuigende, studies; juist daardoor kan men spreken van een wetenschappelijk gefundeerde uitspraak. Gezien het feit dat al deze studies, waarbij in ieder geval het materiaal opnieuw is geëvalueerd, tot hetzelfde resultaat leiden, rechtvaardigt de uitspraak dat hier van een zeer goed gefundeerd feit gesproken mag worden. Ook de Commission Internationale de l'Eclairage CIE komt in haar recente overzicht van het relevante wetenschappelijke materiaal tot dezelfde uitspraak.

Er bleef echter in de studie van de SWOV een aantal vragen onbeantwoord:

- Welke wegen komen voor een openbare verlichting in aanmerking?

- Hoe goed is 'goed'?
- Hoe groot is de reductie (indien aanwezig) voor andere wegtypen?
- Bestaat er een dergelijke relatie voor de andere functionele aspecten van de openbare verlichting (verkeersafwikkeling, burgerlijke veiligheid, leefbaarheid)?

Momenteel is vooral in Nederland onderzoek in gang om deze - en nog andere - vragen te beantwoorden.

De internationale studies betreffen ook verschillende andere wegtypen (maar geen woonstraten), VOP's en tunnels. Voor wegen buiten de bebouwde kom (autosnelwegen en 'andere' wegen, meest 'hoofdwegen') is een resultaat gevonden dat dicht ligt bij de 30% die voor hoofdwegen binnen de bebouwde kom zijn gevonden. De spreiding in het resultaat is echter, wegens de kleinere 'steekproeven' aan wegen, wat groter, zodat het resultaat minder betrouwbaar is. Voor andere wegtypen, voor voetgangersoversteekplaatsen en voor tunnels zijn besparingen aangegeven die afwijken van de genoemde waarde van 30%. In het algemeen blijken de afwijkingen klein te zijn in vergelijking tot de experimentele onzekerheid in de resultaten.

We noemen hier meer in het bijzonder een in Nederland uitgevoerd onderzoek waar in het kader van een bredere studie naar het effect van verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom, wegen met en zonder verlichting zijn vergeleken. Uit de analyse van de gegevens bleek dat op verlichte wegen het aandeel van de nachtongevallen vergeleken met het totale aantal ongevallen (n/t-ratio) aanzienlijk is dan op onverlichte wegen. Details zijn gegeven in Schreuder (1990a) en BGC (1990).

### **4.3. De relatie tussen het lichtniveau en de verkeersveiligheid**

#### *4.3.1. Het lichtniveau als maatgevende grootheid*

Als hypothese wordt gewoonlijk gesteld dat de baten van de openbare verlichting (bijvoorbeeld uitgedrukt in het risico voor ongevallen) toenemen bij een toenemend lichtniveau. Deze hypothese is gebaseerd een aantal overwegingen, globaal als volgt samen te vatten: bij meer licht kan men beter zien, en dus ook beter kan rijden, en dus ook veiliger rijden ('hoe meer licht, des te veiliger').

De hypothese houdt in dat er een monotoon stijgende relatie bestaat tussen de veiligheid en het lichtniveau. Deze hypothese is de combinatie van drie afzonderlijke aannamen, te weten:

1. Er bestaat relatie tussen de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de adaptatieluminantie.
2. Er bestaat een relatie tussen de adaptatieluminantie en de visuele prestaties.
3. Er bestaat een relatie tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid.

Wanneer al deze drie relaties ieder voor zich monotoon stijgend zijn, is de 'som' van deze drie relaties ook een monotoon stijgende relatie. Dit zullen we nader bekijken. Uiteraard is het ook mogelijk dat de 'som' van de drie relaties een monotoon stijgende relatie is, terwijl niet alle drie dit ook zijn. Het is zelfs denkbaar dat de 'som' stijgend is wanneer twee van de relatie dalend zijn (of een andere gedaante, bijvoorbeeld een 'U'-

gedaante hebben), mits de derde 'sterker is dan de andere twee samen. Het valt buiten de opzet van deze studie om al deze varianten te bekijken.

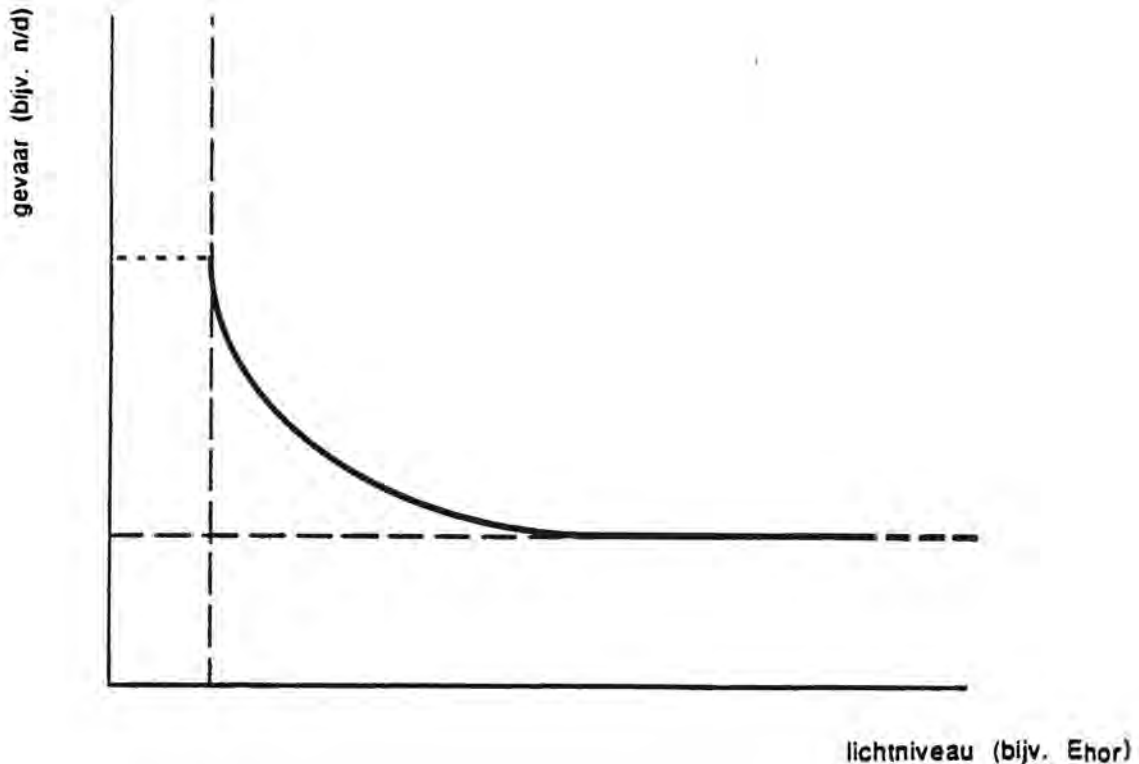
De eerste aanname (de relatie tussen de horizontale verlichtingssterkte en het adaptatieniveau) is in algemene termen juist. Maar wanneer men deze relatie meer in detail bekijkt, blijkt meestal dat er bij duisternis op wegen met een openbare verlichting geen precieze (rechte) evenredigheid bestaat tussen de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de wegdekluminantie. Voorts beslaat het wegdek slechts een betrekkelijk klein deel van het gezichtsveld, zodat de adaptatietoestand mede (en vaak in overheersende mate) wordt bepaald door de luminanties in andere delen van het gezichtsveld. Allereerst dient men te denken aan de armaturen van de openbare verlichting, die immers steeds in het gezichtsveld voorkomen. Zelfs bij wegen die aan de door de NSvV en de CIE opgestelde eisen voor de beperking van de verblinding voldoen, is de adaptatieluminantie enige tientallen procenten hoger dan die welke met de wegdekluminantie zou overeenkomen. Het is bekend dat vele installaties, ook in Nederland, niet aan de aanbevelingen van de NSvV of van de CIE voldoen, met name in woonstraten.

Wanneer er in het gezichtsveld tegenliggers die dimlicht voeren, voorkomen, neemt de adaptatieluminantie sterk toe. Zelfs op goed verlichte wegen met een enkele tegenligger met goed afgestelde dimlichten kan de adaptatieluminantie gemakkelijk verdubbelen. Deze uitspraak is gebaseerd op de stijging in de waarnemingsdrempel ten gevolge van de optredende verblinding, maar niet op een directe meting van de adaptatieluminantie. Het is dus niet meer dan een - vrij accurate - benadering. En tenslotte kunnen andere lichtbronnen (etalages, kantoren, woonhuizen, sportvelden enz.) een aanzienlijke invloed hebben op de adaptatieluminantie.

De tweede aanname (de relatie tussen adaptatieniveau en de visuele prestatie) is in de literatuur hecht gefundeerd. Het is algemeen bekend dat bij een toenemend adaptatieniveau de visuele prestaties toenemen. Het onderzoek in het gebied van het zgn. 'mesopisch zien' heeft bovendien duidelijk gemaakt dat deze relatie vooral sterk is in het gebied van lichtniveaus dat voor deze onderzoeken relevant is.

Omtrent de derde relatie (tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid) is slechts weinig onderzoek uitgevoerd. Meestal neemt men aan dat de relatie niet alleen bestaat, maar ook sterk is. Deze aanname zou afkomstig kunnen zijn van het 'gezonde verstand'-oordeel, dat het 'natuurlijk zo moet zijn: het is duidelijk dat je niet behoorlijk kan rijden wanneer je niet behoorlijk kan kijken'. Wanneer men echter een stapje verder gaat, blijkt deze aanname helemaal niet 'voor de hand' te liggen. Uit de ongevallenstatistieken komt duidelijk naar voren dat het risico om bij ongevallen betrokken te raken bij duisternis, bij slecht zicht en bij slecht weer aanzienlijk groter is dan bij goed zicht: de ongevallenquotiënten bij regen of bij mist zijn hoger dan die bij helder weer. Maar ondanks deze toename blijven de ongevallenquotiënten in absolute zin nog steeds bijzonder laag. Voor mensen die blijvend een verminderde visuele prestatie hebben, komt daar nog de compensatie bij. Deze compensatie gaat zover dat er nauwelijks enig verband is gevonden tussen de visuele prestatie van afzonderlijke mensen en hun betrokkenheid in ongevallen (Burg, 1964, 1968; Schreuder, 1988c).

De hypothese kan nader worden geïllustreerd. Wanneer men een maat voor het ongevalrisico bij duisternis (bijvoorbeeld het quotiënt van de aantallen ongevallen bij duister-



Afbeelding 1. De relatie tussen 'gevaar' en lichtniveau.

nis en bij daglicht, de  $n/d$ -ratio) uitzet tegen het lichtniveau (bijvoorbeeld uitgedrukt in de horizontale verlichtingssterkte  $E_{hor}$ ), verwacht men volgens de hypothese een verband dat als volgt kan worden gekenschetst. Het verband begint niet bij lichtniveau nul, omdat motorvoertuigen tenminste dimlichten voeren, die een kleine, maar bij geringe openbare verlichting merkbare, bijdrage leveren tot het lichtniveau. Vervolgens neemt de  $n/d$ -ratio af bij toenemend lichtniveau op grond van de eerder genoemde overwegingen. Deze afname blijft niet doorgaan, want ook bij zeer hoge lichtniveaus (bijvoorbeeld overdag) zijn er ongevallen die aan visuele aspecten zijn toe te schrijven. De relatie gaat niet naar  $n/d = 0$ , maar naar een waarde van  $n/d$  die groter is dan 0: de asymptoot. Na het bereiken van de asymptoot loopt het verband verder 'horizontaal'. In Afbeelding 1 is een schematische aanduiding gegeven van een dergelijke relatie.

Een analoge redenering kan worden opgezet wat betreft de andere functies van de openbare verlichting: zo kan men de nacht/dagverhoudingen voor het aantal misdrijven, voor de gevoelens van onzekerheid, en voor de oordelen over de leefbaarheid op precies dezelfde wijze uitzetten tegen het lichtniveau; steeds verwacht men een relatie van dezelfde gedaante.

Het probleem doet zich voor dat een dergelijk verloop niet steeds wordt gevonden. Daarom zijn we iets dieper ingegaan op deze hypothese. Als conclusie kan men stellen dat er dus wel een en ander valt af te dingen op de hypothese dat de veiligheid in toenemende mate wordt gediend bij een toename van het lichtniveau. Ook de praktijk geeft reden tot een zekere scepsis: er zijn onderzoeken waar de afname duidelijk is geconstateerd, maar ook het tegendeel is gevonden. We gaan in de par. 4.3.3.4 nader in op deze materie.

Men kan uit het voorgaande concluderen dat nader onderzoek nodig is; dergelijk onderzoek vindt momenteel plaats, en in par. 7.4.3 is een aanzet gegeven voor een meer gedetailleerde studie. De suggestie is gegeven om daarbij de nadruk te leggen op wegen binnen de bebouwde kom. Niet alleen komen deze wegen het meeste voor, maar men mag verwachten dat de effecten van de verlichting, en ook van de verstoringen, groter zijn dan op wegen buiten de bebouwde kom. Om dezelfde reden is in dit hoofdstuk veel plaats ingeruimd voor een beschrijving van het uitgevoerde onderzoek binnen de bebouwde kom.

Bij openbare verlichting wordt vaak gekeken naar de 'baten' van een eventuele verhoging van het lichtniveau. Uit onderzoek komt naar voren dat een verhoging van het lichtniveau inderdaad meestal samen gaat met een verbetering van de verkeersveiligheid. Om uit deze onderzoekresultaten een algemene 'regel' af te leiden moet onder meer met het verkeersaanbod rekening te houden. Bij een constant lichtniveau kan worden gesteld dat de opbrengst (de afname van het aantal ongevallen) in eerste benadering recht evenredig is met het verkeersaanbod - en dan in het bijzonder met het verkeersaanbod bij duisternis. Uit het onderzoek komt naar voren dat er duidelijke aanwijzingen zijn dat de afname van de nachtelijke ongevallen af hangt van het toegepaste lichtniveau.

Wat betreft de verkeersveiligheid zijn de monetaire baten afgeleid van de kosten van de ongevallen, waarbij men ervan uitgaat dat men kan bepalen hoeveel ongevallen door een verkeersveiligheidsmaatregel kunnen worden voorkomen ('bespaard'). Als uitgangspunt wordt de totale nationale economische schade op jaarbasis gebruikt. Men stelt de kosten van deze schade gewoonlijk op een bedrag tussen de 6 en 15 miljard gulden, afhankelijk van de economische definitie van schade. De niet-monetaire baten betreffen (het voorkomen van) menselijk leed, verlies van levenskansen en van levensvreugde (Flury, 1984, 1990). Het is moeilijk - hoewel niet onmogelijk - om een monetair equivalent voor deze niet-monetaire schade te definiëren. In par. 5.3.3 komen we terug op deze materie.

#### 4.3.2. *De opzet en aanpak van onderzoek*

Het onderzoek naar het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting dat in par. 4.2 is besproken, wordt gewoonlijk als een zgn. *voor-en-na-studie* uitgevoerd. Hieronder wordt verstaan het onderzoek waarbij dezelfde wegen of straten wat betreft het ongevallenpatroon worden vergeleken voor en na een verandering in de verlichting - meestal dus het aanbrengen van de verlichting. Het onderzoek dat naar de relatie tussen het lichtniveau en de ongevallen wordt uitgevoerd, is meestal op een andere grondslag gebaseerd: het gaat om zgn. *relatie-onderzoek*, waarbij de bedoelde relatie wordt onderzocht door wegen en straten die wat betreft de verlichting verschillen, maar die in de (alle) andere opzichten gelijk (of tenminste vergelijkbaar) zijn, wat betreft het ongevallenpatroon onderling te vergelijken. Beide methoden hebben hun specifieke voor- en nadelen.

Bij relatie-onderzoek komen specifieke problemen aan de orde. We zullen deze problemen hier kort aanduiden aan de hand van de ervaringen met het onderzoek naar de relatie tussen het lichtniveau en de verkeersonveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Uit de algemene ervaring blijkt dat alle wegkenmerken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom onderling in sterke mate zijn gecorreleerd, en dat de kenmerken in hoofdzaak afhangen van de verkeersintensiteit (etmaalintensiteit). Deze

ervaring is in een eerder door BGC voor DVK uitgevoerd (niet gepubliceerd) onderzoek opnieuw bevestigd. Een samenvatting ervan is gegeven in BGC (1987).

Overigens is het de vraag of deze ervaring algemeen geldig is. Uit de vergelijking van wegen zonder en met openbare verlichting komt de suggestie naar voren dat er naast de intensiteit nog andere kenmerken van weg en/of verkeer zijn die met de relatieve veiligheid samen hangen. Het lijkt wenselijk om de genoemde 'ervaring' voor de bij dit onderzoek betrokken wegen alsnog aan een nader onderzoek te onderwerpen. Dit is in beginsel mogelijk omdat voor het gehele bestand aan gebruikte wegen alle belangrijke kenmerken bekend zijn (BGC, 1990a).

Ook aangaande de verkeersintensiteit zelf dient een nadere opmerking te worden gemaakt. Wanneer de nachtelijke ongevallen op wegen met verschillende verlichtingskenmerken worden vergeleken, zou men bij deze vergelijking eigenlijk rekening moeten houden met de intensiteit van het nachtelijk verkeer, en niet met de etmaalintensiteit. Deze (nacht)intensiteit is echter vrijwel nooit bekend. Om toch de invloed van de verkeersintensiteit in rekening te kunnen brengen, is uitgegaan van de hypothese dat voor alle wegen binnen het onderzoek de verhouding (voor gehele kalenderjaren) tussen het verkeer bij duisternis en dat per etmaal constant is, meer in het bijzonder dat deze verhouding niet af hangt van het lichtniveau van de openbare verlichting. Deze hypothese lijkt plausibel, maar kan niet worden getoetst. Ook is te verwachten dat deze hypothese niet altijd correct is: men mag verwachten dat in sommige gevallen de wegbeheerder op wegen met uitzonderlijk sterk nachtelijk verkeer voor een hoger lichtniveau kiest.

Het gebruiken van de bedoelde hypothese van de constante relatie tussen nacht- en etmaalverkeer maakt het aan de andere kant mogelijk om ook de dag-ongevallen te gebruiken. Ook is het mogelijk om de lengte van het wegvak, de verkeersintensiteit en het aantal ongevallen te combineren tot een 'risicofactor' en wel de voor dit doel gebruikelijke aantal ongevallen per voertuigkilometer.

Het onderzoek betreft wegen die voorzien zijn van installaties voor openbare verlichting, onderling verschillend in de kwaliteit van de verlichting (luminantie en gelijkmatigheid). In het wegenbestand zijn ter vergelijking en ter beoordeling van de consistentie van het materiaal ook een aantal wegen zonder openbare verlichting opgenomen. Ofschoon de toestand 'onverlicht' eigenlijk geen deel uitmaakt van het onderzoek, zijn ook de onverlichte wegen in de analyse betrokken, in de verwachting dat het toevoegen van onverlichte wegen een aanvulling zou kunnen verschaffen over het antwoord op de vraag welke wegen verlicht moeten worden. Zoals verderop zal worden toegelicht, blijkt het materiaal geen duidelijke uitspraken op dit gebied mogelijk te maken.

#### *4.3.3. Het relatie-onderzoek tussen lichtniveau en ongevallen*

##### *4.3.3.1. Internationaal onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom*

In een aantal landen (België, Duitsland, Zweden en Engeland) zijn kleine, maar recente onderzoeken uitgevoerd. We geven hier een kort overzicht van de resultaten; een meer gedetailleerde bespreking is te vinden in Schreuder (1985) te melden. Daar zijn ook de verwijzingen te vinden naar de oorspronkelijke literatuur.



De Belgische studie betreft de evaluatie van besparingsmaatregelen op de autosnelwegen: bij een deel van de autosnelwegen werd tussen 00.30 uur en 5.00 uur de verlichting (verkeer en weer dienende) uitgeschakeld, bij een aantal wegen werd de verlichting gehalveerd (van ca. 2,5 naar ca. 1,3 cd/m<sup>2</sup>). Er is een vergelijking gemaakt tussen de aantallen ongevallen van verschillende ernst vóór en na de veranderingen, vergeleken werden daarbij de veranderingen op de 'behandelde' wegen met de veranderingen op de 'onbehandelde' wegen. De besparingsmaatregelen bleken een duidelijk negatieve invloed te hebben op de veiligheid. Wel moeten enige kanttekeningen worden gemaakt. Zo is er geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in het verkeer, meer in het bijzonder in het dag/nachtpatroon van het verkeer. Ook is er geen rekening gehouden met het feit dat 'behandelde' wegen om een bepaalde reden werden gekozen voor de 'behandeling'. Een samenvatting is gegeven in Schreuder (1985). De gegevens zelf zijn gepubliceerd in Anon (1985).

Ook uit Duitsland zijn een aantal kleinere onderzoeken te melden. De eerste studie is een ongepubliceerd onderzoek van het Duitse normalisatie-instituut. Op grond van een enquête werden gegevens uit 23 steden in Nordrhein-Westfalen verzameld over de relatie tussen de kosten van ongevallen bij duisternis en het lichtniveau. Het blijkt dat er wel een zekere relatie is tussen de twee variabelen, de relatie is echter zwak en wordt overheerst door spreiding in de gegevens.

De tweede Duitse studie betreft een traject autosnelweg waar de openbare verlichting eerst werd gehalveerd en vervolgens werd gedoofd. Het resultaat is onduidelijk. Wanneer men de (kosten van) de dag- en nachtongevallen in de voorperiode vergelijkt met die in de twee onderzoekperioden (gehalveerd en gedoofd) dan blijkt dat de dag/nachtverhouding eerst is toegenomen en daarna gedaald. Zonder nadere gegevens over weglengte, aantal ongevallen, verkeersaanbod en vooral over de statistische significantie kan geen verdere uitspraak worden gedaan.

De derde studie betreft een traject autosnelweg van 14,4 km lengte van de B 10 tussen Stuttgart en Esslingen. Uit een vergelijking van de dag- en nachtongevallen in voor- en naperioden van ieder 11 maanden bleek het doven van de verlichting gepaard te gaan met een relatieve afname van de nachtongevallen. Ook hier geldt weer dat zonder verdere gegevens een definitief oordeel over de resultaten niet kan worden gegeven. Wel is het opvallend dat, in tegenstelling tot de meeste andere studies, deze twee studies in Duitsland geen positief effect van de openbare verlichting te zien geven. Tevens is de relatie tussen het verkeersaanbod en de ongevallen voor de dag/nachtsituatie afgeleid, de laatste voor verlichte zowel als onverlichte weg. Voor de situatie met openbare verlichting blijkt er een geleidelijke daling van het risico te zijn. Voor de dag en de onverlichte weg is echter een duidelijk (secundair) maximum in het risico te constateren voor ca. 3000 voertuigen per uur per richting. Bij weinig verkeer is het risico op de verlichte weg duidelijk hoger dan op onverlichte wegen, maar bij druk verkeer waar de onverlichte weg en dagtoestand beiden een (secundair) maximum tonen, is de verlichte weg duidelijk veiliger.

#### 4.3.3.2. Nederlands onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom

##### *A. Onderzoekfasering*

Het recente Nederlandse onderzoek betreft het bepalen van de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de (frequentie en ernst) van verkeersongevallen. Enige jaren geleden heeft de Dienst Verkeerskunde (DVK) van Rijkswaterstaat het initiatief genomen een onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en verkeersongevallen. De DVK, de SWOV en Bureau Goudappel Coffeng hebben gezamenlijk een programma opgesteld. De achtergronden van dit programma zijn in detail beschreven in de bijlagen van het eindrapport van Deel I van die studie (Schreuder, 1990a).

Om praktische redenen is dit programma in drie fasen is onderverdeeld.

Fase I: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom;

Fase II: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op autosnelwegen buiten de bebouwde kom;

Fase III: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op wegen binnen de bebouwde kom.

Fase I is afgesloten (BGC, 1990; Schreuder, 1990a). Fase II is momenteel in uitvoering waarbij de nadruk ligt op de wegvakken, terwijl Fase III nog niet is aangevangen.

##### *B. Opzet Fase I*

Het onderzoek is opgezet als een relatiestudie, waarbij kenmerken van de verlichting zijn gerelateerd aan kenmerken van de ongevallen, en waarbij de kenmerken van weg en verkeer als 'parameter' zijn opgenomen. Het onderzoek beslaat de jaren 1984 tot en met 1988.

Het wegenbestand dat in de eerste fase is gebruikt, bestaat in beginsel uit alle in Nederland aanwezige van openbare verlichting voorziene niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Om technische en praktische redenen moest een gedeelte van deze wegen afvallen. Een belangrijke factor daarbij was de eis dat de wegvakken gedurende de periode waarover het onderzoek zich uitstrekt, geen ingrijpende wijzigingen hebben ondergaan. Een tweede belangrijke factor was de eis dat een vak tenminste 400 meter lang moest zijn om in het bestand te worden opgenomen. Dit is gedaan om een zekere homogeniteit binnen ieder vak te bereiken. In de praktijk komen deze beperkingen erop neer dat het in hoofdzaak, maar niet bij uitsluiting, gaat om wegen met gesloten verklaringen voor het langzaam verkeer.

Het totale bestand bestaat uit ruim 90 wegvakken met een totale weglengte van ruim 7000 km. Een complete inventarisatie van alle gebruikte wegvakken is uitgevoerd en apart gerapporteerd (BGC, 1990a).

De ongevalgegevens zijn afkomstig van de Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR). Moeilijkheden bij het verschaffen van de voor dit onderzoek gewenste gegevens maakte het nodig om de VOR-gegevens aan te vullen met de gegevens die rechtstreeks uit de politieformulieren (de 'groentjes') zijn ontleend.

Het gebruikte bestand van de ongevallen omvat alle geregistreerde ongevallen met letsel

(doden en gewonden) en alle geregistreerde u.m.s.-ongevallen (ongevallen met uitsluitend materiële schade). Deze laatste categorie is toegevoegd om het bestand zo groot mogelijk te maken, ofschoon bekend is dat u.m.s.-ongevallen slechts voor een klein gedeelte in de VOR-registratie terecht komen. Toch zijn deze ongevallen gebruikt omdat er geen duidelijke redenen zijn aan te voeren dat de registratiegraad van u.m.s.-ongevallen op een systematische ('non random') wijze afhangt van het lichtniveau van de openbare verlichting.

De verlichtingsgegevens zijn afkomstig van de wegbeheerders. Omdat de gegevens over een vrij groot aantal jaren nodig waren, leverde de verzameling ervan moeilijkheden op. Daarom zijn de verlichtingsgegevens afkomstig van de wegbeheerders aangevuld met gegevens uit de in het kader van dit onderzoek uitgevoerde inventarisatie (BGC, 1990a). Het lichtniveau is bepaald met behulp van het door de DVK opgestelde computerprogramma RWSLICHT. Met als uitgangspunt het type van armatuur, lamp en wegdek, en de gegevens van de verlichtingsgeometrie (wegbreedte, paalafstand, ophanghoogte enz.) zijn de luminanties uitgerekend. De verlichtingsgegevens omvatten steeds tenminste de gemiddelde wegdek-luminantie  $L$  en de ongelijkmatigheidsmaten  $U_1$  en  $U_0$ .  $U_1$  betekent de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon in de lengterichting van de weg (lichte en donkere dwarsstrepen);  $U_0$  betekent de algemene ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon (het voorkomen van donkere plekken).

Ook de verkeersgegevens (ten minste bestaande uit gemeten of geschatte etmaalintensiteiten) zijn afkomstig van de wegbeheerders.

Het onderzoek betreft wegen die voorzien zijn van installaties voor openbare verlichting, onderling verschillend in de kwaliteit van de verlichting (luminantie en gelijkmatigheid). In het wegenbestand zijn ter vergelijking en ter beoordeling van de consistentie van het materiaal ook een aantal wegen zonder openbare verlichting opgenomen.

### *C. Resultaten Fase I*

Er blijkt een nauwe relatie te bestaan tussen de twee maten voor de ongelijkmatigheid  $U_1$  en  $U_0$ . Dit sluit aan bij de meer recente gedachten om in de toekomst slechts één van deze twee maten te gebruiken: wanneer er inderdaad steeds een aanzienlijke samenhang bestaat, levert het gebruik van twee grootheden in plaats van één, nauwelijks extra informatie op.

Er blijkt een vrij sterke samenhang te bestaan tussen de gemiddelde wegdek-luminantie en de gelijkmatigheid: wegen met een (relatief) hoge luminantie hebben over het algemeen een (relatief) goede gelijkmatigheid. De gevonden sterke samenhang tussen de luminantie en de gelijkmatigheid betekent dat het op grond van de resultaten van het onderhavige onderzoek niet mogelijk is om een uitspraak te doen over de relatieve merites van lichtniveau en gelijkmatigheid. Een 'pay off' tussen deze twee grootheden kan op grond van het hier gepresenteerde materiaal niet worden gevonden, evenmin als een beslissende uitspraak over de vraag of het luminantieniveau of juist de gelijkmatigheid het 'belangrijkste' ontwerpcriterium is.

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De  $n/t$ -ratio is op verlichte wegen steeds lager, en bij een middelmatig luminantieniveau reeds aanzienlijk lager, dan de ratio op onverlichte wegen. Wegens de verwachting

dat er sterke verstoringen aanwezig zijn, kunnen op basis van dit onderzoek over de vergelijking van het risico op verlichte en onverlichte wegen geen 'robuuste' uitspraken worden gedaan.

- Er bestaat een statistisch significante relatie tussen het luminantieniveau en het risico bij nacht (ongevallen per voertuigkilometer). De luminantie blijkt slechts een vrij klein gedeelte van de variantie te verklaren. Het risico hangt, behalve van de verlichting, nog van andere factoren af.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
Risico	0,59	0,37	0,26

- Er bestaat een (niet significante) tendens dat ook de dagongevallen per voertuigkilometer (op etmaalbasis) afnemen met toenemende luminantie. Een combinatie van deze gegevens levert op dat ook het aandeel van de nachtongevallen (de n/t-ratio) in aanzienlijke mate afneemt bij toenemende luminantie.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
n/t-ratio	0,33	0,27	0,23

De verschillen in de ratio bij verschillende luminanties zijn niet significant op het 5%-niveau.

- Er zijn aanwijzingen dat het risico bij de laagste lichtniveaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg. Het heeft uit overweging van de verkeersveiligheid weinig zin om een 'slechte' verlichting aan te brengen. Een dergelijke 'slechte' verlichting levert een aanzienlijke verbetering van het subjectief ervaren rijcomfort (Van den Brink & Buijn, 1987, 1990).
- De invloed van de lichtmasten op de verkeersveiligheid niet mag worden genegeerd. Deze invloed is echter niet zo groot is dat de gunstige uitwerking van de aanwezigheid van verlichting op de verkeersveiligheid te niet wordt gedaan of in ernstige mate gereduceerd.
- Kosten/baten-analyses zijn een bruikbaar hulpmiddel bij het vergelijken van niet te zeer verschillende installaties onder overigens gelijke omstandigheden; ze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om verschillende maar gelijksoortige ontwerpen voor dezelfde weg onderling te vergelijken.
- Kosten/baten-analyses zijn niet nauwkeurig genoeg om te worden gebruikt als criterium voor het al dan niet verlichten van wegen; vooral niet voor afzonderlijke wegvakken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

#### D. Fase II

Fase II van het onderzoek gaat over de verlichting van autosnelwegen. Dit onderzoek is bedoeld als een vervolg op het eerder uitgevoerde onderzoek naar dezelfde problematiek op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

Er zijn tussen autosnelwegen en niet-autosnelwegen verschillen aan te wijzen die repercussies kunnen hebben op het onderzoek.

- Het aantal kilometers autosnelweg is aanzienlijk geringer dan het aantal kilometers niet-autosnelweg. Ook het aantal kilometers *verlichte* weg is geringer. Ondanks de grote verkeersintensiteit is het aantal ongevallen op autosnelwegen kleiner dan op niet-autosnelwegen. Dit laatste omdat het *risico* op niet-autosnelwegen groter is.
- De autosnelwegen in Nederland zijn vrijwel zonder uitzondering bij de Rijksoverheid in beheer; de verlichting is tot voor zeer kort op een centrale wijze tot stand gekomen, zodat de variatie in verlichting (in luminantie bijvoorbeeld) op autosnelwegen geringer is dan op niet-autosnelwegen. Overigens is uit een voorstudie van BGC gebleken dat de 'range' in verlichting waarschijnlijk voor het onderzoek voldoende is.
- Bij aansluitingen en knooppunten in autosnelwegen is er een aanzienlijk verschil tussen de hoofdrijbanen en de afslaannde wegen, weefvakken en rangeerbanen. De praktijk leert dat er vaak ook verschillen bestaan in de registratie van ongevallen, en van toedeling van ongevallen aan weggedeelten. Op grond hiervan is besloten om het onderzoek in elk geval te beperken tot de hoofdrijbanen, en, wanneer de noodzaak zal blijken, tot de weggedeelten tussen aansluitingen en knooppunten. Dit laatste zal echter leiden tot een aanzienlijk kleiner bruikbaar areaal.

Voor de omvang van het onderzoek is de volgende schatting gemaakt. Uitgangspunt is 12 cellen (drie lichtniveaus en vier intensiteitsklassen). Per cel zijn voor een redelijk betrouwbare statistische verwerking *tenminste* 20 ongevallen nodig. Dit is een lage schatting; gemiddeld is gerekend op 50. Er zijn dus 600 relevante ongevallen nodig. Dit getal moet worden opgehoogd, en wel met een factor 4 (verlichte tegenover onverlichte weggedeelten); met 3 (aantallen ongevallen bij dag en bij duisternis); met 5/4 (4/5 van de ongevallen op de hoofdrijbaan) en nog eens met 5/4 (20% codeerfouten). In totaal zijn dus 11 250, afgerond 15 000 ongevallen nodig. Uit het DVK-bestand blijkt dat er op alle autosnelwegen in Nederland ruim 1200 letselongevallen per jaar plaatsvinden. Dit zou dus een onderzoekperiode van ruim tien jaar vereisen. Dat is niet zinvol, dus beperking tot letselongevallen is niet mogelijk. U.m.s.-ongevallen moeten worden gebruikt. Dit levert extra problemen op bij de verzameling van ongevalgegevens. Er worden per jaar ruim 10 000 u.m.s.-ongevallen op autosnelwegen bij de VOR geregistreerd, dus een periode van twee jaar is voldoende.

BGC heeft in 1990 een schatting gemaakt over het benodigde areaal. Er is in Nederland 450 km autosnelweg verlicht. Verwacht is dat hieruit een voldoende aantal wegvakken van ca. 1000 m te vinden zijn die voldoende homogeen zijn. Voorts is (ter vergelijking) ca. 100 km onverlichte autosnelweg nodig. Het totale areaal waarover (volgens de schatting van BGC) gegevens moeten worden verzameld, is ca. 550 km. Het lopende onderzoek zal moeten uitwijzen of dit areaal te halen is, en of het groot genoeg is.

Het onderzoek loopt momenteel. Er deed zich een aantal problemen voor die te maken hebben met de volledigheid en de betrouwbaarheid van de gegevens. De problemen komen op verschillende terreinen voor: zowel bij de ongevallen als bij de verlichting, en bij het verkeer zijn veel van de gegevens onvolledig en/of onjuist. Het valt te bezien

of, na eliminatie van de 'zwakke plekken' nog voldoende aan betrouwbaar materiaal zal overblijven om tot uitspraken te kunnen komen die zowel discriminerend zijn wat betreft het resultaat, als wetenschappelijk verdedigbaar en statistisch significant. Er zij opgemerkt dat het onderzoek in Fase II in eerste instantie is toegespitst op wegvakken.

#### *E. Vervolgtraject*

Hierboven is de fasering van het onderzoek genoemd. Het gaat daarbij om drie fasen.

Fase I: niet-autosnelwegen;

Fase II: autosnelwegen;

Fase III: wegen binnen de bebouwde kom.

Van deze drie fasen is de eerste fase afgesloten. De resultaten voldoen aan de verwachtingen en maken een verder onderzoek niet nodig.

Fase II is nog in behandeling, zodat er over de resultaten nog niets te zeggen is. Het lijkt echter verstandig om reeds op voorhand rekening te houden met de mogelijkheid dat het areaal van het onderzoek niet groot genoeg zal blijken te zijn om statistisch betrouwbare, en voor de verkeersveiligheid relevante resultaten op te kunnen leveren.

Geografisch is een uitbreiding binnen Nederland niet mogelijk, omdat alle Nederlandse autosnelwegen reeds in het onderzoek zijn betrokken. Vergroting van het areaal kan alleen gebeuren door wegen in het buitenland in de beschouwingen te betrekken. Aangezien in heel wat landen dergelijk onderzoek wordt uitgevoerd - zij het meestal op kleinere schaal en minder systematisch - is een uitbreiding in beginsel heel goed mogelijk.

De organisatie van een en ander zal echter moeilijk zijn. Een mogelijke opzet is om het onderzoek door Nederland te laten financieren, door een onafhankelijk advies- of ingenieursbureau te laten uitvoeren, en door een internationale organisatie zoals bijvoorbeeld de CIE, de OECD de PIARC of de IRF te laten begeleiden.

Voor Fase III is al heel wat materiaal beschikbaar, zijn het dat het op een andere wijze dan de gegevens van de Fasen I en II is verzameld. Verdere uitbouw van het onderzoek, zowel wat betreft de verkeersveiligheid als wat betreft de criminaliteit is echter nodig. Eerder is een mogelijke opzet geschetst, waarmee de benodigde gegevens kunnen worden verzameld. Ook de subjectieve veiligheid en de leefbaarheid moeten worden onderzocht in relatie tot de openbare verlichting.

Wanneer al deze gegevens bijeen zijn gebracht, is een integratie nodig. Deze integratie is meer in het bijzonder nodig wanneer een kosten/baten-analyse van de openbare verlichting wordt geëntameerd. Een dergelijke analyse is essentieel om de merites van openbare verlichting te kunnen afwegen tegen de merites van automobielerlichting of van wegmarkeringen.

#### 4.3.3.3. Internationaal onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom

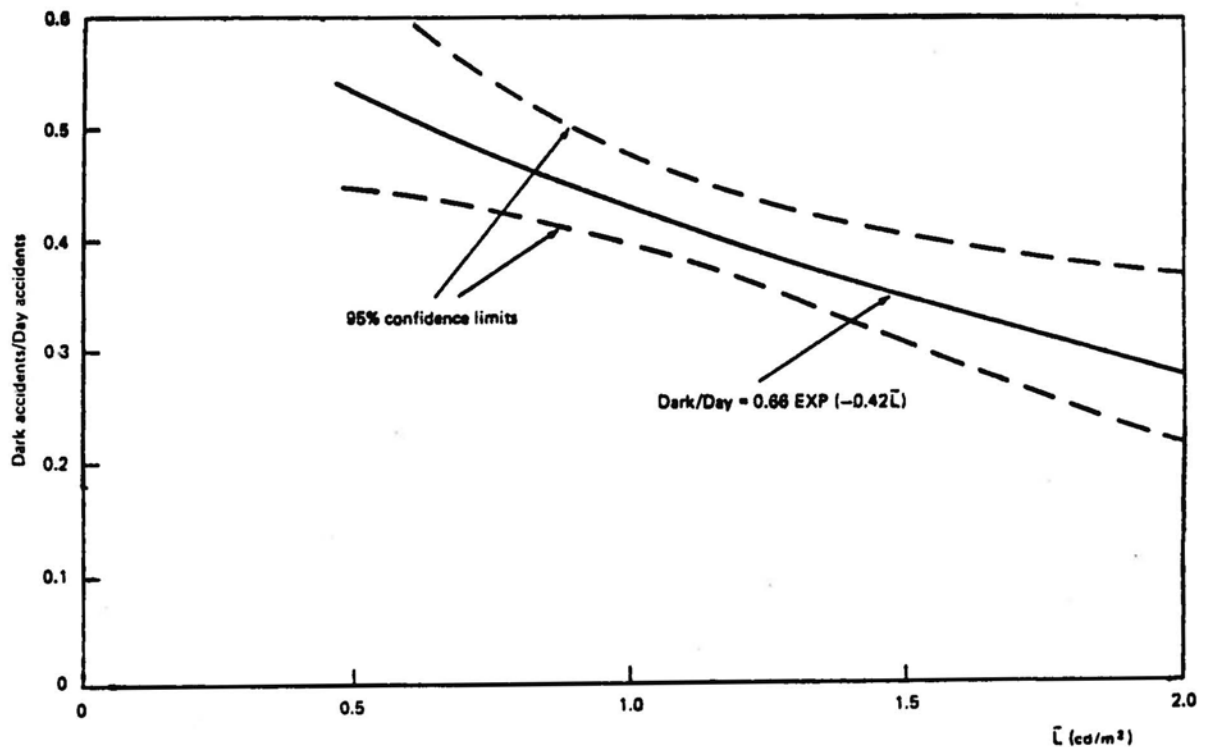
De relatie tussen lichtniveau en ongevallen is in het verleden minder frequent onderzocht.

De belangrijkste internationale onderzoeken zijn die uit Engeland en uit Philadelphia (VS). We zullen de resultaten hier in het kort samenvatten. Details zijn gegeven in de literatuur; zie daarvoor Scott, 1980; Gallagher et al., 1975 en Schreuder (1983; 1985, 1988).

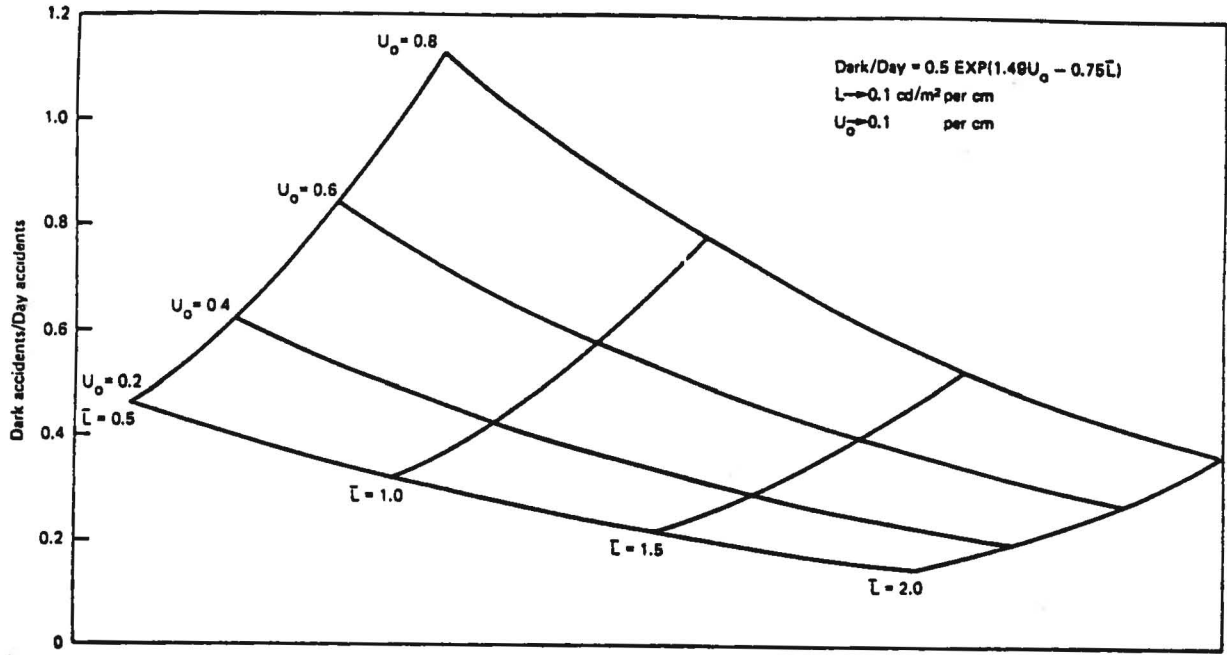
In de Engelse studie zijn van ca. 70 stedelijke enkelbaans uitvalswegen alle relevante gegevens van ongevallen en van verlichting verzameld. Gegevens over het verkeer zijn niet verzameld. Men nam aan dat alle invloeden van het verkeer verdisconteerd konden worden door het 'gevaar' uit te drukken in het quotiënt van ongevallen bij daglicht en bij duisternis. Voor letselongevallen is een duidelijke relatie gevonden is tussen ongevallen en het lichtniveau (zie Afbeelding 2).

Een nadere analyse leverde echter enige moeilijk te verklaren feiten op. Wanneer men zich concentreerde op ongevallen tussen voertuigen, en de voetgangersongevallen buiten beschouwing liet, vond men een vergelijkbare afhankelijkheid van het lichtniveau. Maar ook bleek dat bij *toenemende* gelijkmatigheid het relatieve aandeel van de nachtongevallen *toenam* (zie Afbeelding 3). Dit was in strijd met wat men voordien algemeen had aangenomen. Men volgde gewoonlijk de volgende redenering: een betere gelijkmatigheid is een betere verlichting, en een betere verlichting leidt tot minder ongevallen, en niet tot *meer* ongevallen. Zie verder Scott (1980) die overigens zelfs geen poging waagt om dit onverwachte resultaat te verklaren.

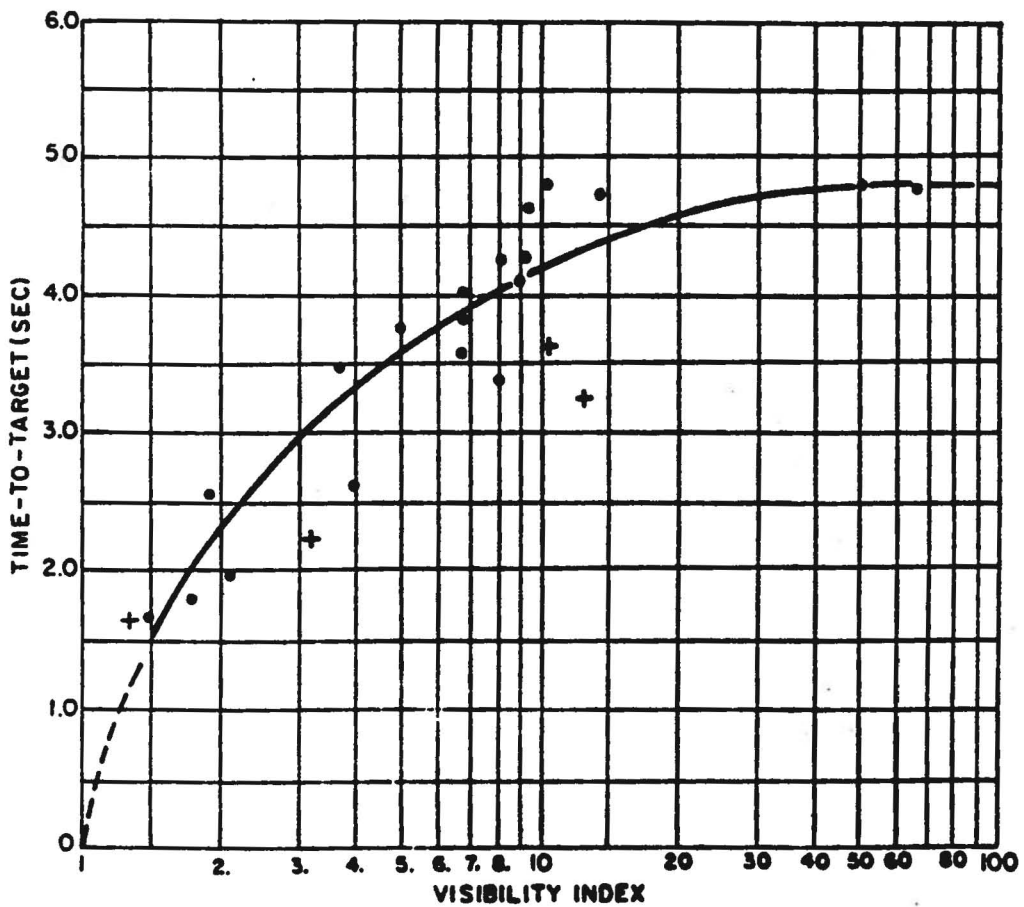
Bij een in Philadelphia (VS) uitgevoerde studie is een grotere steekproef gebruikt. Er zijn weinig gegevens over de verlichting verzameld, maar wel veel gegevens over het verkeer, en over stedenbouwkundige aspecten. De ongevallenstudie heeft nauwelijks bruikbare resultaten opgeleverd. Naast deze ongevallenstudie is een onderzoek naar de waarneembaarheid van obstakels uitgevoerd. Men heeft bepaald op welke afstand de bestuurders van auto's een obstakel op straat van voldoende belang achtten om ervoor te remmen. ('time to target'. Het blijkt dat deze afstand met toenemend lichtniveau (hier uitgedrukt



Afbeelding 2. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en het lichtniveau ( $\text{cd/m}^2$ ) (Bron: Scott, 1980).



Afbeelding 3. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en het lichtniveau met de ongelijkmatigheid als parameter (Bron: Scott, 1980).



Afbeelding 4. De relatie tussen de 'time to target' en de visibility index (Bron: Gallagher et al., 1975).



in de 'visibility index' eerst toeneemt maar al gauw afvlakt. Er is kennelijk een waarde van het lichtniveau te vinden waarboven een verdere verhoging geen (nuttig) effect heeft (zie Afbeelding 4).

Samengevat: Deze twee onderzoeken suggereren dat er over het algemeen wel van een verbetering van de verkeersveiligheid sprake is bij toenemend lichtniveau, maar dat de relatie niet altijd duidelijk blijkt. Soms is er zelfs van een tegengestelde relatie sprake. Dit resultaat wordt soms gebruikt als ondersteuning van de in par.3.4.2.2 beschreven Small Target Visibility; men neemt aan dat bij een weg met zeer goede gelijkmatigheid kleine voorwerpen kunnen 'verdwijnen', en dat zou dan tot een toename van het aantal ongevallen leiden.

Ook uit Duitsland zijn een aantal kleinere onderzoeken te melden. Details zijn weer gegeven in Schreuder (1985). De eerste studie is een ongepubliceerd onderzoek van het Duitse normalisatie-instituut. Op grond van een enquête werden gegevens uit 23 steden in Nordrhein-Westfalen verzameld over de relatie tussen de kosten van ongevallen bij duisternis en het lichtniveau. Het blijkt dat er wel een zekere relatie is tussen de twee variabelen, de relatie is echter zwak en wordt overheerst door spreiding in de gegevens. Voorts nog een Duitse studie over vijf steden in Nordrhein-Westfalen waar een avond/nachtregime is ingevoerd. Tussen ongeveer 22.00 uur en 6.00 uur werd de verlichting (ongeveer) gehalveerd. In drie van de vijf steden nam het dag/nachtquotiënt af, in één bleef het gelijk en in één nam het toe zodat er geen duidelijke resultaten te vinden zijn. In één van de steden (Keulen) was het echter mogelijk om de verhouding tussen de avond- en nachtperiode te vergelijken voor straten met en zonder avond/nachtregime, net als in een in Schreuder (1985) beschreven pilotstudie in Dordrecht. Het resultaat was dan ook analoog, in vergelijking tot de straten waar de verlichting niet was verminderd, namen in de straten waar de verlichting is gehalveerd de ongevallen toe met 21% en de kosten ervan 42%.

#### 4.3.3.4. Nederlands onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom

##### *A. Motief voor onderzoek*

Zoals we reeds eerder hebben aangegeven in dit rapport, vertegenwoordigt de openbare verlichting relatief slechts een zeer bescheiden post op de bestedingen, zowel wat betreft geld als wat betreft (elektrische) energie. Toch gaat het in absolute maat om aanzienlijke bedragen, en het is dus alleszins gerechtvaardigd om te proberen dat het geld en de energie die voor de openbare verlichting nodig zijn, zo goed mogelijk worden gebruikt. Dit streven is te meer gerechtvaardigd in tijden waar zowel de overheidsuitgaven als het gebruik van energie kritisch worden bekeken.

In 1981 is op initiatief van het Ministerie van Economische Zaken door de Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland SVEN een brochure uitgegeven om de gemeenten te helpen effectiever met de kosten voor openbare verlichting om te gaan (SVEN, 1981). Het doel was de exploitatiekosten van de openbare verlichting te verminderen zonder de kwaliteit (uitgedrukt in verkeersveiligheid en burgerlijke veiligheid) geweld aan te doen. Deze brochure is opgesteld door medewerkers van drie ministeries (Economische Zaken, Verkeer en Waterstaat en Binnenlandse Zaken). De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV heeft haar medewerking verleend. De brochure is op ruime schaal verspreid, en heeft in aanzienlijke mate aan haar doel beantwoord.

De in de brochure gebruikte gegevens, en daarmee ook de op die gegevens gebaseerde aanbevelingen uit de brochure, zijn echter afhankelijk van de tijd; ze zijn intussen veelal achterhaald. Dit betekent dat een ongewijzigde herdruk - toen de brochure uitverkocht was - af te raden was.

Ter voorbereiding van een nieuwe SVEN-brochure is besloten om een onderzoek naar de effectiviteit van openbare verlichting te doen uitvoeren. Deze aanpak leidde ertoe dat het zwaartepunt van de op wegen binnen bebouwde kommen komt te liggen.

### *B. Aanpak van het onderzoek*

Het onderzoek bestond uit drie gedeelten:

1. Rapportage over de stand van zaken.
2. Het opstellen van een overzicht over de tot nu toe genomen maatregelen voor energiebesparing.
3. Het uitvoeren van een voorstudie.

Voor Deel 1 van de opdracht (rapportage van de stand van zaken) is uitgegaan van de in 1983 in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerde literatuurstudie (Schreuder, 1983). Deze studie leidde tot de conclusie dat:

'Goede openbare verlichting voor belangrijke stadsstraten een afname van ca. 30% in de nachtelijke letselongevallen kan bewerkstelligen. Voorts heeft het er de schijn van dat de reductie voor wegen binnen bebouwde gebieden groter is dan die voor rurale (auto) (snel)wegen' (zie ook par. 4.2).

Er bleven echter in deze studie een aantal vragen onbeantwoord:

- Welke wegen komen voor een openbare verlichting in aanmerking?
- Hoe goed is 'goed'?
- Hoe groot is de reductie (indien aanwezig) voor andere wegtypen?
- Bestaat er een dergelijke relatie voor de andere functionele aspecten van de openbare verlichting (verkeersafwikkeling, burgerlijke veiligheid, leefbaarheid)?

Voor het overzicht van de stand van zaken is deze literatuurstudie aangevuld; daarbij is met name aandacht besteed aan de vraag hoe goed 'goed' is. Deze vraag kan alleen worden beantwoord wanneer de relatie tussen het niveau (kwaliteit of kwantiteit) van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid bekend is (Schreuder, 1988).

De studie leidde tot de conclusie dat de bedoelde relatie (nog) niet kon worden vastgesteld, en dat deel nader onderzoek nodig is.

Wat betreft Deel 2 zijn de volgende conclusies getrokken:

- Er lijkt nog een zekere - zij het niet zeer grote - ruimte aanwezig te zijn voor verdere energiebesparende maatregelen. Daarbij dient te worden bedacht dat de kwaliteit van de verlichting gehandhaafd dient te blijven.
- Nader onderzoek is gewenst om deze maatregelen te preciseren, met name wat betreft de toe te passen lichtniveaus.
- Er is behoefte aan goede, eenvoudige en praktisch bruikbare voorlichting.

Wat betreft het verkeersveiligheidsbeleid is de volgende opmerking te maken: Er lijkt ruimte te bestaan om een zekere besparing van energiegebruik toe te passen onder handhaving van de verkeersveiligheid.

Wat betreft het beleid omtrent de misdaadpreventie valt op dat er nog een aanzienlijk gebrek is aan 'harde' gegevens over de relatie tussen openbare verlichting en (voorkoming van) criminaliteit. Nadere studie dienaangaande lijkt gewenst.

Op basis van de conclusies uit de eerste twee onderdelen van de voorstudie waren voor de begeleidingsgroep aanleiding om aan te bevelen dat ook het derde onderdeel van de voorstudie zou worden uitgevoerd. Dit derde onderdeel heeft het karakter van een 'pilotstudie'.

Wat betreft de misdaadpreventie bleek dat er weinig 'harde' gegevens bestaan over de relatie tussen openbare verlichting en (voorkoming van) criminaliteit. Nadere studie dienaangaande lijkt gewenst. Hoewel het onderzoek in de eerste plaats de verkeersveiligheid betrof, is ook aan de misdaadpreventie enige aandacht besteed. Zie verder par. 4.5.

### *C. De opzet van het onderzoek*

Het onderzoek is opgezet als een relatie-onderzoek. Het gaat om het bepalen van de relaties tussen groepen van gegevens betreffende de volgende aspecten:

- ongevallenkenmerken
- verlichtingskenmerken
- wegkenmerken
- verkeerskenmerken
- (criminaliteitskenmerken).

Er is voor een simpele aanpak gekozen: onderzocht wordt de relatie tussen de verlichtingskenmerken en de ongevallen, waarbij de andere twee groepen kenmerken (weg en verkeer) als 'parameter' worden gehanteerd. Verder is de proef gebaseerd op de gedachte om een zo groot mogelijke 'steekproef' aan ongevallen te krijgen; omdat de middelen zeer beperkt waren, betekende dit dat de andere kenmerken slechts in globale mate konden worden verzameld. Dit leidde tot de wens om het onderzoek uit te voeren in betrekkelijk kleine geografisch en organisatorisch af te grenzen 'gebieden'. Hierdoor kon gebruik worden gemaakt van het feit dat het een enkele of hoogstens een klein aantal mensen alle relevante gegevens gemakkelijk op een eenvormige wijze bijeen kunnen brengen; meestal heeft een enkel persoon het overgrote deel 'in zijn hoofd'. De gegevens uit de verschillende gebieden moeten uiteraard op elkaar aansluiten.

De proefnemingen zijn in een aantal fasen uitgevoerd. De eerste fase betrof de opdracht van het Ministerie van Economische Zaken; de resultaten zijn gepubliceerd in Schreuder (1989a) en hebben betrekking op gegevens uit Amsterdam (West) en Leeuwarden. Later is het onderzoekgebied uitgebreid met gegevens uit Utrecht, Oss en Barendrecht. De resultaten van de twee fasen zijn samengebracht in Schreuder (1992c).

Aangezien de omvang van het bestand aan gegevens nog niet groot genoeg lijkt te zijn, is een verdere uitbreiding wenselijk. Deze uitbreiding kan samenvallen met Fase III van het in par. 4.3.3.2 genoemde onderzoek dat door DVK is geëntameerd.

### *D. Benodigde en beschikbare gegevens*

Zoals hierboven is aangeduid zijn gegevens over de ongevallen, de verlichting, de weg en het verkeer (en de criminaliteit) nodig. Deze gegevens dienen voor alle wegen en straten die bij het onderzoek betrokken waren, apart te worden verzameld. In totaal ging het om

ongeveer drie duizend straten. De ongevalgegevens zijn voor alle betrokken gemeenten verzameld. In Utrecht en Oss is gebruik gemaakt van de gegevens die door de Dienst Verkeersongevallenregistratie VOR zijn vastgelegd. Voor Amsterdam, Leeuwarden en Barendrecht zijn de door de gemeente zelf opgestelde registraties gebruikt.

Het lichtniveau is gekarakteriseerd door de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte  $E_{hor}$  op de rijbaan. Dit is slechts een benadering voor de grootheden die de waarneming in wegen en straten bepalen, met name van de luminantie van het wegoppervlak.

Voor het in rekening brengen van gegevens over de weg en het verkeer is een classificatie van wegen nodig, waarin deze aspecten verdisconteerd zijn. In navolging van de Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV is voor een indeling in twee klassen gekozen: wegen met (in hoofdzaak) een verkeersfunctie, en wegen met (in hoofdzaak) een verblijfsfunctie (NSvV, 1990). Een indeling met slechts twee klassen heeft het voordeel dat het aantal straten en het aantal ongevallen per klasse behoorlijk groot is; het nadeel is dat in iedere klasse wegen voorkomen die onderling tamelijk sterk kunnen verschillen. Om dit laatste nadeel te onderwerpen, is een klasse-indeling nodig die meer in detail gaat.

De hier gebruikte methode leidt tot een groot pakket gegevens. Het aantal inwoners van het onderzochte areaal bedraagt ca. 540 000, het aantal geregistreerde ongevallen ca. 22.333 waarvan overdag ca. 17.020 en bij duisternis ca. 5.313.

#### *E. Conclusies*

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

1. De omvang van het onderzoek is (nog steeds) niet groot genoeg om statistisch significante uitspraken te kunnen doen die betrekking hebben op afzonderlijke wegklassen.
2. Voor de wegen met een verkeersfunctie en voor de wegen met een verblijfsfunctie is de verhouding tussen de ongevallen bij duisternis en bij dag vrijwel precies gelijk, ofschoon men mag verwachten dat wegen met een verkeersfunctie een groter nachtaandeel in het verkeer hebben.
3. Op straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verblijfsfunctie correspondeert zowel op wegvakken als op kruisingen een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen. Een verdubbeling van het niveau van de verlichting blijkt te corresponderen met een afname van ca. 3% in het aantal nachtelijke ongevallen.
4. Op wegvakken van straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen.
5. Daarentegen correspondeert op kruisingen in straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie een hoger lichtniveau met een hoger nachtaandeel van de ongevallen.

#### *F. Discussie*

De conclusie 1 leidt tot de suggestie om nader onderzoek te doen; dit past in het in par. 4.3.3.2 reeds aangegeven vervolgtraject.

De conclusies 3 en 4 zijn in overeenstemming met de verwachting die volgt uit de overwegingen die in par. 4.3.1 zijn gegeven: betere verlichting leidt tot minder ongevallen. De conclusie 5 is daarmee echter in strijd. Zonder nader onderzoek is het niet mogelijk om een duidelijke verklaring te geven voor dit - onverwachte - feit; er zij echter op

gewezen dat de verwachtingen wel vaker niet in overeenstemming bleken te zijn met de resultaten van het onderzoek. We zijn dit al tegen gekomen bij het Engelse onderzoek bij de relatie tussen ongelijkmatigheid en de ongevallen (par. 4.3.3.3); ook in Duitsland bleken de resultaten soms af te wijken van deze verwachting (par. 4.3.3.1). Voorts kunnen we wijzen op gedragsonderzoek waarbij in een - overigens sterk geabstraheerde omgeving - openbare verlichting niet bleek bij te dragen tot een betere waarneembaarheid op kruisingen (Janssen & Van der Horst, 1980).

Er zijn verschillende mogelijkheden te bedenken die tot dit onverwachte resultaat zouden kunnen leiden:

- Er is sprake van een overcompensatie in het risiconemend gedrag (zie par. 3.3.1.7). Op zichzelf is dit wel mogelijk; er zijn gevallen bekend - niet uit de verlichtingswereld overigens - waar dit is geconstateerd. Een verklaring is echter hieruit moeilijk af te leiden; immers, wanneer er van overcompensatie sprake is, is niet te verwachten dat dit alleen op kruisingen en niet op wegvakken plaatsvindt.
- Dimlichten van auto's uit zijstraten kunnen minder opvallend zijn naarmate het lichtniveau hoger is (Janssen II, 1984). Dit zou kunnen leiden tot meer ongevallen op kruisingen bij een hoger lichtniveau.
- Kruisingen die een meer dan gemiddeld risico bij duisternis vertegenwoordigen, worden extra verlicht. Dit levert alleen een verklaring op wanneer *ondanks* deze extra verlichting het extra nachtrisico niet of niet geheel is weggenomen. Dit kan heel goed het geval zijn; fouten in het wegontwerp kunnen maar zeer ten dele door de verlichting worden 'goed gemaakt'. Een verklaring voor het gevonden resultaat kan dit feit echter moeilijk opleveren, omdat in Nederland in vrijwel alle gevallen de verlichting van de belangrijkste straat over de kruisingen met minder belangrijke straten wordt doorgetrokken.
- Wanneer een bepaalde weg een hoger lichtniveau krijgt en de kruisende wegen niet, wordt het verschil tussen de wegen wat betreft de waarneembaarheid groter. Het is denkbaar dat daarmee de kruising gevaarlijker wordt, omdat met name het langzaam verkeer uit de zijweg minder duidelijk waarneembaar is. Door het hogere lichtniveau op de hoofdweg ziet de kruising er echter voor de weggebruikers die zich op de hoofdweg bevinden, minder gevaarlijk uit. De combinatie van deze twee effecten kan leiden tot een relatief groter aantal ongevallen op de beter verlichte wegen.
- Over het algemeen worden belangrijkere verkeerswegen - met meer en sneller verkeer - van een hoger lichtniveau voorzien dan de minder belangrijke verkeerswegen. De kruisingen van deze wegen met wegen van een lagere 'orde' zijn meestal voorzien van een aangepaste voorrangregeling, of uitgerust met verkeerslichteninstallaties. Bij verkeerswegen van minder belang is dit meestal niet het geval. Dit betekent dat men op belangrijke verkeerswegen - die dus meestal een hoog lichtniveau hebben - een ander type ongeval zal mogen verwachten dan op de minder belangrijke verkeerswegen. En andere typen ongevallen kunnen op een andere wijze door duisternis worden beïnvloed. Daarbij komt dat verkeerslichteninstallaties niet zelden 's avonds worden uitgeschakeld.
- Mogelijk kan het ongevallenpatroon ook op een andere wijze van belang zijn. Het is mogelijk dat de dag/nachtverhouding van ongevallen die niet of nauwelijks door visuele of verlichtingskundige aspecten worden beïnvloed, afwijkt van de dag/nachtverhouding van ongevallen die in aanzienlijke mate door deze visuele of verlichtingskundige aspecten worden beïnvloed. Men kan daarbij denken aan bepaalde typen alcoholongevallen. Dit verschil kan leiden tot een schijnbare afhankelijkheid van het lichtniveau.

Kortom, er is een aantal redenen die er toe zouden kunnen leiden - of tenminste ertoe zouden kunnen bijdragen - dat voor verkeerswegen op kruisingen een hoger lichtniveau kan corresponderen met een hoger nachtaandeel van de ongevallen. Het verdient aanbeveling om deze materie nader te onderzoeken.

#### 4.4. De verkeersafwikkeling

##### 4.4.1. *De verkeersafwikkeling voor gemotoriseerd verkeer*

###### 4.4.1.1. De verkeersintensiteit

Op vele wegtypen zijn er aanwijzingen dat bij toenemend lichtniveau in vele gevallen de snelheid van het gemotoriseerde verkeer toeneemt. Men drukt dit wel uit dat de bestuurders kennelijk zoeken naar een compensatie, waarbij gepoogd wordt het niveau van de prikkeling (of zelfs het niveau van het risico om bij ongevallen betrokken te raken) gelijk te houden. Ook al moet men, zoals we in een eerder deel van deze cursus reeds hebben aangeduid, voorzichtig zijn met het te ver doortrekken van de theorie van de 'risicohomeostase', wel is bekend dat een toename van de rijsnelheid gewoonlijk gepaard gaat met een toename van de ongevallen. Een toename van de rijsnelheid leidt echter niet steeds tot een toename van de maximale mogelijkheid om verkeer te verwerken: de (maximale) capaciteit van wegvakken blijkt te liggen bij een situatie waarbij de rijsnelheid ca. 70 km/uur is. Zowel bij hogere als bij lagere snelheid is de 'through put' lager dan de capaciteit. Zo gezien mag men nauwelijks verwachten dat er vooral voor autosnelwegen, maar ook voor de zgn. 80 km/uur-wegen de verkeersafwikkeling bevorderd wordt door een toename van het lichtniveau.

Een ander aspect is de verdeling van het verkeer over elementen van een verkeersnetwerk. Het is denkbaar dat als er twee (of meer) alternatieven wat betreft de route zijn om dezelfde bestemming te bereiken, bij voorkeur dat alternatief zal worden gekozen waarbij de inspanning minimaal is, of het rijgemak maximaal. Goed verlichte wegen zouden dus verkeer kunnen aantrekken. Er zijn echter geen onderzoeken bekend waarvan de resultaten dit vermoeden bevestigen of ontkennen. Kortom, een relatie tussen verkeersafwikkeling en verlichting is denkbaar; het is echter niet te zeggen of deze relatie in feite bestaat, noch in welke 'richting' de relatie werkt.

###### 4.4.1.2. Het rijcomfort

Het is bekend dat bij toenemend lichtniveau het gemak van waarnemen toeneemt; te verwachten is dat ook het gemak van het aan het verkeer deelnemen (als autobestuurder of op andere wijze) toeneemt. In het verleden is het comfort van waarnemen en rijden veelal als de belangrijkste grond geweest voor het verlichten van wegen. Voorbeelden van deze aanpak zijn te vinden in het standaardwerk over de openbare verlichting van De Boer (ed.)(1967). Ook de aanbevelingen waren op dit gezichtspunt gebaseerd. Dit geldt meer in het bijzonder voor de aanbevelingen van de NSvV en die van de CIE (die in sterke mate op die van de NSvV zijn gebaseerd). Zo zijn bij de NSvV de aanbevelingen voor de begrenzing van de verblinding uitsluitend, en in die van de CIE in hoofdzaak, beperkt tot de 'discomfort glare' (zie par. 3.4.4). Pas in de meest recente uitgave van de NSvV-aanbevelingen is dit anders (NSvV, 1990).

Ook het onderzoek is voor het grootste deel op comfort (of op het vermijden van discomfort) geconcentreerd. Pas de laatste jaren zijn andere criteria naar voren gekomen; zo wordt in Noord-Amerika momenteel de nadruk gelegd op de reeds genoemde Small Target Visibility - een maat die geacht wordt de waarneembaarheid te beschrijven, maar die noch met comfort noch met veiligheid in directe relatie staat (par. 3.4.2.3). In Europa wordt meer waarde gehecht aan de 'objectieve baten' van verlichting: de reductie in aantal en ernst van ongevallen en misdrijven (par. 4.5); dit laatste vooral uit overwegingen van energiebeperking en burgerlijke veiligheid.

In Nederland heeft men steeds belang blijven aan het rijcomfort, meer in het bijzonder voor rijkswegen en autosnelwegen. Gewezen kan worden op onderzoek dat in opdracht van de Rijkswaterstaat door IZF-TNO is uitgevoerd. Het ging daarbij om de door bestuurders gerapporteerde visuele problemen bij het rijden bij duisternis. Walraven (1980) heeft het eerste onderzoek gedaan, waarbij de bestuurders tijdens ritten op deels verlichte, deels onverlichte wegen buiten de bebouwde kom spontaan rapporteerden aan een bijrijder. Als belangrijkste probleem kwam naar voren het gebrek aan informatie over het wegverloop door onvoldoende verlichting of door verblinding. De problemen namen toe bij regen. Obstakels die mogelijk gevaar met zich brachten werden niet ontmoet.

Een vervolgonderzoek op autosnelwegen is uitgevoerd door Padmos (1988). Ook hier weer bleek de onzekerheid van het wegverloop van belang te zijn, en ook hier bleken de problemen bij regen toe te nemen. Obstakels die het verkeer in gevaar brachten zijn niet ontmoet.

Vervolgens heeft men - zonder succes - gepoogd het (gebrek aan) comfort te koppelen aan (gebrek aan) veiligheid. Een onderzoek waarbij naar 'bijna-ongevallen' is gevraagd leek dezelfde probleemgebieden op te leveren als de rijtesten (Padmos, 1981). Het is niet gelukt een relatie tussen de bijna-ongevallen en feitelijke ongevallen te vinden, zodat niet uitgesloten kan worden dat de antwoorden op vragen naar bijna-ongevallen in feite door (gebrek aan) comfort zijn ingegeven. De meting van de hartslagfrequentie (Padmos, 1991) heeft al evenmin een dergelijk verband aangetoond.

In Nederland wordt, mede aan de hand van deze resultaten, veel waarde gehecht aan het rijcomfort. Om over het comfort zelf ook meer rechtstreekse gegevens te verkrijgen, is een groot onderzoek uitgevoerd waarbij de opinie van verkeersdeelnemers is gevraagd (Buijn & Van den Brink, 1990; zie ook Buijn, Van den Brink & Schreuder, 1991). Op een aantal wegvakken is een (tijdelijke) verlichting aangebracht, waarbij het luminantieniveau en de gelijkmatigheid kon worden gevarieerd. Het percentage ontevreden nam duidelijk af bij toenemende luminantie (van ruim 20% bij 0,3 cd/m<sup>2</sup> naar 11% bij 1,3 cd/m<sup>2</sup>). Ook hier weer bleek dat de waardering bij regen duidelijk beter werd, ofschoon de gelijkmatigheid sterk afnam. Het percentage ontevreden nam bij 0,7 cd/m<sup>2</sup> af van 15% naar 11% bij regen, en bij 1,3 cd/m<sup>2</sup> van 11% naar 9%. "Geconcludeerd kan worden dat weggebruikers in de praktijk een hoge waardering geven aan wegverlichting, ook al is de kwaliteit hiervan volgens het gangbare criterium zeer matig. Bij regen is de waardering nog hoger. Met andere woorden: als de rijomstandigheden moeilijker worden, wordt de openbare verlichting meer gewaardeerd" (Van den Brink, 1991, blz. 17).

#### 4.4.2. De verkeersafwikkeling voor langzaam verkeer

Deze term wordt hier gebruikt om het gemak waarmee fietsers en voetgangers zich op straat kunnen voortbewegen, te beschrijven. Gezien het feit dat Nederland een fietsland bij uitstek is, kan men zich verbazen over het feit dat er slechts zeer weinig onderzoek is uitgevoerd; wellicht heeft dit te maken met de lage 'status' van de fiets als vervoermiddel.

Uit een serie experimenten uitgevoerd onder de auspiciën van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV komt naar voren dat voor het duidelijk kunnen waarnemen van kleine obstakels op het pad voor de fietser, het niveau van de openbare verlichting op de donkerste plaatsen tenminste ca. 0,2 cd/m<sup>2</sup> moet bedragen (Anon, 1983). De mastafstand moet in het algemeen niet meer dan 30 m bedragen. Voor zover het om het volgen van het pad gaat, is een aanzienlijk grotere mastafstand toelaatbaar. Bij proeven uitgevoerd door de Rijkswaterstaat op fietspaden buiten de bebouwde kom bleek dat een mastafstand van 60 m bij een gemiddeld niveau van tenminste 2 lux voldoende was.

De voorzieningen ten behoeve van voetgangers zijn op bredere schaal onderzocht. Het meeste onderzoek betrof echter niet alleen de 'afwikkeling' van het voetgangersverkeer, maar ook het gemak van waarnemen, de preventie en de bestrijding van de criminaliteit, en het waarborgen van een zeker gevoel van veiligheid voor de voetgangers. We zullen het betreffende onderzoek bij par. 4.6 behandelen.

Naast het specifieke onderzoek voor voetgangers op straat kan worden verwezen naar een analoog gebied: de noodverlichting nodig op ontruimingsroutes in gebouwen. Wat betreft de eisen aan de waarneembaarheid zijn de twee gevallen analoog. Veiligheidsvoorschriften geven minimale eisen, meestal uitgedrukt in het minimum van de horizontale verlichtingssterkte op de ontruimingsroute zelf. Uit onderzoek blijkt dat met ca. 0,5 lux grote objecten als meubelstukken en dozen kunnen worden ontweken; voor kleinere objecten is meer licht nodig. In Nederland moet volgens NEN 1010 op dergelijke routes de noodverlichting tenminste 1 lux verschaffen (NNI, 1971). In Engeland zijn de voorgeschreven waarden lager (ca. 0,2 lux); in de USA hoger (ca. 5 lux). Ook de Commission Internationale de l'Eclairage CIE heeft aanbevelingen op dit gebied uitgegeven (CIE, 1981). Deze lijken meer op de Amerikaanse normen dan op de Engelse. Hieruit is een aanbeveling voor woonerven afgeleid, inhoudende dat de horizontale verlichtingssterkte niet lager moet zijn dan 1 lux (Schreuder, 1979a).

#### 4.5. De burgerlijke veiligheid

Zoals reeds eerder is aangegeven, is traditioneel de burgerlijke veiligheid, of de bestrijding of voorkoming van criminaliteit al sinds eeuwen de belangrijkste reden voor het aanbrengen van openbare verlichting in steden. Het zij echter vermeld dat, tenminste in Nederland, er geen expliciete verplichting bestaat voor de overheid om openbare verlichting te installeren. De Gemeentewet vermeldt dat het de plicht is van het Gemeentebestuur om de veiligheid van de burgers te waarborgen. Gewoonlijk wordt dit geïnterpreteerd als een verplichting voor openbare verlichting.

Gezien het feit dat de verlichting reeds zo lang met dit expliciete doel wordt geïnstalleerd, is het verwonderlijk dat er in het verleden slechts weinig onderzoek heeft plaatsgevonden aangaande de relatie tussen verlichting en criminaliteit.



Het enige op behoorlijke schaal uitgevoerd onderzoek stamt uit de USA. Het onderzoek betrof een steekproef van 41 verlichtingsprojecten, waarvan er slechts 15 gebruikt konden worden voor een evaluatie. Gezien de geringe omvang van de evaluatiesteekproef is een statistische analyse van de resultaten achterwege gelaten.

De studie bevat een aantal suggesties ten behoeve van de wegbeheerders. De suggesties betreffen vooral het beleid voor misdaadpreventie en minder de technische uitmontering van de wegen. Gegevens van de afname van de criminaliteit ten gevolge van een verbetering van de openbare verlichting - of omgekeerd - zijn niet verschaft. Tenslotte bevat de studie een overzicht van de in de literatuur gepubliceerde gegevens. Deze gegevens zijn over het algemeen onvolledig, en vaak zelfs van twijfelachtige gehalte. Meestal zijn de gegevens meer kwalitatief - gebaseerd op opinies van politiefunctionarissen - dan kwantitatief. De studie besluit met de aanbeveling dat er niet alleen meer onderzoek moet worden gedaan, maar dat ook een nieuwe techniek daarvoor moet worden ontwikkeld.

"Therefore, it is recommended that a single project evaluation design be developed, implemented, refined and promulgated as a model evaluation study".

Vermeld kan nog worden een studie uit Eindhoven, waar - onder auspiciën van de NEOM - is onderzocht of 'dimmen' beter is dan 'uitschakelen' voor nachtschakelingen. De criminaliteit is in het proefgebied meer afgenomen dan in de rest van de stad. Dit levert de suggestie op dat de criminaliteit wellicht vooral bestreden kan worden door zeer donkere plekken op de weg te vermijden.

Een studie die veel aandacht heeft getrokken is in Frankrijk uitgevoerd. In de stad Lyon is nagegaan hoeveel misdrijven er zijn gepleegd in straten die een verschillend lichtniveau hebben. Het blijkt dat er veel meer misdrijven plaatsvinden op slecht verlichte straten dan op goed verlichte straten. Het is echter moeilijk om hieruit een kwantitatieve conclusie te trekken zonder nadere gegevens over de omvang van het stratennet in de betreffende stad voor de verschillende klassen van verlichtingssterkte, en over de 'expositie': het aantal potentiële slachtoffers dat zich op de bedoelde straten bevindt. Ook is het twijfelachtig of de misdaadpreventie voldoende beschreven is door de opgave van het gemiddelde niveau van de verlichtingssterkte op het wegoppervlak. Veelal neemt men aan dat het minimum daarvoor een betere maat is. Eenstemmigheid hierover bestaat echter nog niet.

In Nederland is op dit terrein in het verleden nauwelijks onderzoek uitgevoerd. Er zijn wel enige publikaties, maar die zijn voor een groot deel op de beschikbare internationale literatuur tot ca. 1983 gebaseerd, aangevuld met het resultaat van enige ervaringen in Den Haag (Maas, 1986). Samengevat leveren de verschillende studies op dat een vermindering in de verlichting leidt tot een verhoging van de criminaliteit, en omgekeerd. Een halvering van de verlichting leidde tot een toename van ca. 20% tot meer dan 100% van de criminaliteit van verschillende soort, terwijl een verhoging van het lichtniveau leidde tot reducties van 40 à 90%.

Sinds het rapport van de Commissie Roethof is openbaar gemaakt is de belangstelling voor de relatie tussen aspecten van de bebouwde omgeving en de criminaliteit aanzienlijk toegenomen. Bij deze aspecten van de bebouwde omgeving speelt de verlichting uiteraard een belangrijke rol; uit praktijkervaringen is weer gebleken dat naast het lichtniveau vooral de verdeling van het licht een belangrijke rol speelt. Gebleken is ook dat een

goede verlichting een gunstige uitwerking heeft zowel op de preventie als op de bestrijding van criminaliteit. Kwantitatieve gegevens ontbreken echter. Een belangrijke rol heeft in dit verband de Stichting Vrouwen Bouwen en Wonen te Rotterdam gespeeld.

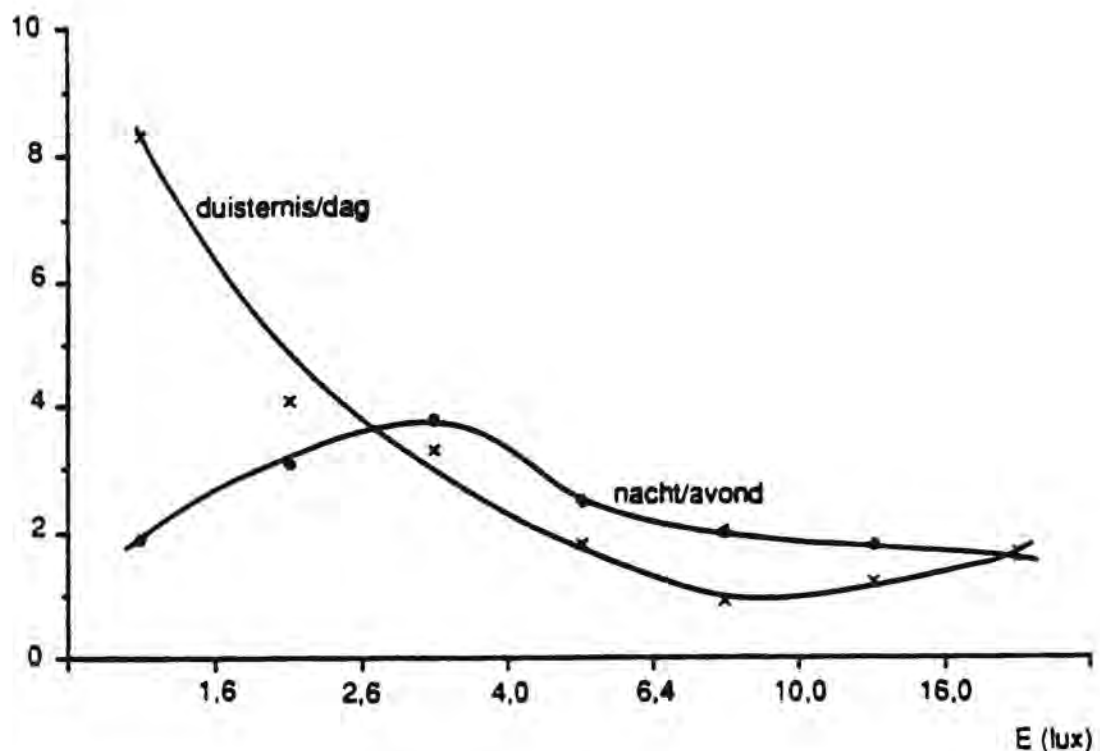
Ook internationaal is de belangstelling voor openbare verlichting als middel voor misdaadpreventie groeiende. Zo is op het in 1987 gehouden 21ste congres van de CIE onderzoek op dit terrein besproken.

Dit alles heeft geleid tot een onderzoek in de Gemeente Oss. In feite is het onderzoek een 'spin-off' van de studie naar het optimaliseren van de openbare verlichting, en dan meer speciaal wat betreft het beheer van de verlichting.

De gegevens van de criminaliteit zijn niet onderverdeeld naar wegklasse. Ook een onderverdeling naar type misdrijf is niet zinvol aangezien alleen diefstallen uit auto's frequent zijn. De andere misdrijven komen (gelukkig!) slechts in zodanig kleine aantallen voor dat een analyse niet zinvol is.

Uit de gegevens blijkt dat het relatieve aandeel van misdrijven bij duisternis duidelijk afneemt bij toenemend lichtniveau (zie Afbeelding 5). Bovendien blijkt er eveneens een dalende tendens te zijn in de verhouding tussen 'nacht' en 'avond'-misdrijven bij toenemend lichtniveau.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat openbare verlichting een doeltreffende maatregel tegen criminaliteit is. Daarbij dient te worden bedacht dat de opgaven van misdrijven voor het overgrote deel diefstallen uit auto's betreffen. Om over andere misdrijven een even duidelijke uitspraak te kunnen doen, dient het onderzoek te worden uitgebreid. Wel



Afbeelding 5. De relatie tussen criminaliteit en lichtniveau (Bron: Schreuder, 1992c).

kan worden opgemerkt dat bij straten met hoge lichtniveaus slechts weinig inbraken worden gemeld. Het is niet bekend of de behouwing daarbij een rol speelt

#### 4.6. Subjectieve ervaringen

Sinds de oliecrisis van 1973, en sterker nog na de verschillende bezuinigingsronden van de Overheid is de straatverlichting onder druk komen te staan; energiebesparing en kostenvermindering gingen hand in hand. Daarbij is niet alleen aandacht besteed aan de verlichting van wegen voor het snelverkeer, maar ook aan woonstraten; de laatste omdat er zo veel van zijn.

Men streefde een kostenvermindering op drie manieren na: ten eerste werden vele lampen uitgeschakeld, ten tweede werd de verlichting later ontstoken en eerder gedoofd, en ten derde werden de lampen vervangen door lampen die minder energie gebruikten. Tegen de eerste twee is ernstig bezwaar aangetekend, vooral vanuit het gezichtspunt van de verkeersveiligheid. De laatste lijkt op het eerste gezicht een verstandige maatregel.

Door andere lampen te kiezen kan men op twee wijzen energie en dus energiekosten besparen: ten eerste kan men lampen nemen met een hoger (lichttechnisch) rendement. Dit zijn meestal natriumlampen: de witachtige hoge-druk natriumlampen (SON) en de gele (monochromatische) lage-druk natriumlampen (SOX). Vooral de laatste worden vaak gekozen op grond van hun hoge specifieke lichtstroom. Wegens hun monochromatisch licht is kleurherkenning echter onmogelijk. Voor woonstraten wordt dit vaak als een groot bezwaar gevoeld. Er is echter een mogelijkheid dat het grote voordeel van de hoge specifieke lichtstroom bij lage lichtniveaus terugloopt. We zullen hier niet nader ingaan op deze theoretische problemen. En de tweede mogelijkheid is om gewoon kleine lampen te nemen - die dus weinig licht uitstralen.

De beleidsbeslissingen over de openbare verlichting blijken op gemeentelijk niveau voor een groot deel bepaald te worden door de kosten. Daarbij worden aanleg- en bedrijfskosten, mede door de grote verschillen in tariefstelling, vaak op zeer verschillende wijze ten opzichte van elkaar gewogen. Om tot een verantwoorde kosten/baten-vergelijking te komen, moeten deze kosten worden afgewogen tegenover de functie van de openbare verlichting. Daarbij keek men meestal alleen maar naar het waarborgen van de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid bij duisternis. De andere functies, zoals het verzekeren van de burgerlijke veiligheid, en het verschaffen van een zeker 'gevoel van veiligheid' kwamen meestal nauwelijks aan de orde. Weliswaar heeft de sinds enige jaren bestaande belangstelling voor de bestrijding en voorkoming van de 'kleine criminaliteit' hierin enige verandering gebracht.

Bij dit geheel is meestal geen aandacht besteed aan de mening van de bewoners - toch de belangrijkste 'gebruikers' van de openbare verlichting. We vermelden hier een kleine 'pilot-studie' uitgevoerd in een wijk in Schiedam (Schreuder, 1989b, c). Sinds enige jaren is in Schiedam een systematische herwaardering van de openbare verlichting in uitvoering. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- hoofdwegen worden met hoge-druk natriumlampen (SON) verlicht;
- woonstraten worden met lage-druk natriumlampen (SOX) verlicht;
- in sommige straten worden, bijvoorbeeld op grond van architectonische overwegingen, fluorescentielampen (SL) gebruikt;

- hoge-druk kwiklampen (HPL) en fluorescentiebuizen (TL) die in het verleden veel zijn toegepast, worden geleidelijk vervangen door SOX, SON of SL (we gebruiken hier de handelsbenamingen SON, SOX, SL, HPL en TL omdat ze zo kort zijn).

In de wijk Schiedam Zuid treft men vooral straten met vrij oude, meest lage bebouwing. De wijk heeft een sterk 'wijkarakter'. In een aantal straten zijn enige honderden enquêteformulieren uitgezet.

De enquête bestond uit drie vragen. De eerste vraag betrof de mening over de algemene indruk overdag en 's nachts van een viertal straten in de wijk, alsmede de mening over de kwaliteit van de verlichting. De tweede vraag betrof de indruk of de verandering van de verlichting in vier straten een verbetering was. De betreffende veranderingen zijn echter vrij lang geleden uitgevoerd, terwijl er geen nauwkeurige gegevens beschikbaar zijn over de oude toestand. De antwoorden op de tweede vraag zijn verder niet gebruikt. De derde ging over de verlichting en de zichtbaarheid in de eigen straat. Over negen straten zijn voldoende gegevens verzameld om tot een oordeel te komen. Van zeven straten zijn bovendien nog enige aanvullende gegevens verzameld.

Behalve de gerichte vragen was er ook de gelegenheid tot het geven van algemeen commentaar; een gelegenheid waarvan zeer ruim gebruik is gemaakt.

De gegevens over de verlichting van de straten waren bekend. De verlichtingssterkten variëerden van 1,7 lux tot 14,7 lux.

Bij de analyse van deze gegevens is niet ingegaan op de statistische spreiding of op de betrouwbaarheidsintervallen. De reden is dat men er niet van mag uitgaan dat de gegevens onderling onafhankelijk zijn; voorts zijn de aantallen in deze 'steekproef' te klein voor een gedegen statistische analyse.

Uit de antwoorden blijkt dat het oordeel over de verlichting vrijwel uitsluitend wordt bepaald door het lichtniveau, en - binnen de mogelijkheid van discriminatie van deze oriënterende studie - in het geheel niet door de lichtkleur. Dit volgt uit de directe beoordeling van de verlichting, maar ook uit de relatieve beoordeling van de straat. Daarvoor zijn de antwoorden 's nachts prettig' gecorrigeerd voor het percentage 'overdag prettig' door deze twee percentages op elkaar te delen. Dit geeft een indruk over het verschil in appreciatie van de straat tussen de dag- en de nachtsituatie. Deze twee opinies blijken vrijwel precies tot het zelfde resultaat te leiden.

Vraag 3 bestond uit een aantal onderdelen. Over een aantal aspecten van de verlichting konden meningen worden gegeven. De resultaten zijn ten gevolge van de kleine aantallen niet meer dan indicaties. Toch lijken er wel enige aanwijzingen gevonden te kunnen worden. Zo vindt men als regel dat er te veel donkere plekken op de weg zijn (50% tot 91%), terwijl het algemene niveau slechts zelden te laag is gevonden (15% tot 18%; dit bij verlichtingssterkten tussen 2,8 lux en 9,5 lux). Een relatie met de verlichtingssterkte lijkt er echter niet te bestaan. Over de gevoelens van veiligheid bij nacht verschilden de meningen: positieve oordelen lagen tussen 18% en 64%. Ook hier lijkt geen relatie met de verlichtingssterkte te bestaan. Tenslotte de mening dat men als voetganger voldoende kon zien: positieve oordelen lagen tussen 35% en 64%. Hier lijkt een zwakke relatie met de verlichtingssterkte aanwezig te zijn: de laagste score hoort bij de donkerste straat. Maar wel blijkt dat de zichtbaarheid voor te voet gaan aanzienlijk beter wordt beoordeeld dan de het gevoel van veiligheid.

Alle straten hadden SOX-verlichting. De lichtkleur werd negatief beoordeeld. Voor alle met SOX verlichte straten te zamen blijkt dat gemiddeld 66% van de respondenten de kleur 'akelig' vindt. Hondpoep is blijkbaar ook een probleem: 65% merkt op dat deze onzichtbaar is. Daarentegen is verbinding en instraling in de woning slechts zelden een probleem: resp. 4% en 12,5% ondervindt hinder. Tenslotte blijkt dat vrijwel alle mensen - ondanks de nodige kritiek - graag in de wijk wonen: ruim 95% woont er graag en evenveel voelen zich overdag veilig op straat.

Uit de ze oriënterende studie komen de volgende punten naar voren:

- de meningen over de straat bij duisternis en die over de openbare verlichting zijn zeer analoog;
- de mening over de kwaliteit van de openbare verlichting wordt uitsluitend bepaald door het lichtniveau (verlichtingssterkte); de lichtkleur speelt geen enkele rol;
- SOX-verlichting wordt over het algemeen 'akelig' gevonden;
- men voelt zich 's nachts vaak onveilig op straat;
- het lichtniveau moet tenminste 3 à 4 lux bedragen om als voldoende beoordeeld te worden (het laagste was 1,7 lux);
- steeds werden er donkere plekken geconstateerd;
- voor het gaan te voet werd over het algemeen juist voldoende gezien; bij het laagste niveau waarbij deze vraag is gesteld (2,8 lux) was het kennelijk te weinig.

Omdat vrijwel alle straten waarvoor de vraag 3 is beantwoord met SOX-lampen werden verlicht, is het niet mogelijk om enige uitspraak te doen over de mate waarin deze effecten van het lichtniveau of van de lichtkleur afhangen. Om dit te onderzoeken is een meer uitgebreide studie nodig, waarbij een grotere variatie in lichtkleur en lichtniveau ter beschikking moet staan.

#### 4.7. Conclusies uit Hoofdstuk 4

Uit Hoofdstuk 4 zijn de volgende conclusies te trekken:

- Op stedelijke hoofdwegen met in hoofdzaak een verkeersfunctie, kan men een reductie in de nachtelijke letselongevallen verwachten van ca. 30%, wanneer de verlichting wordt verbeterd van zeer slecht tot goed. Voor (drukke) autowegen en autosnelwegen buiten de bebouwde kom blijken vergelijkbare ongevalreducties te worden gevonden. De spreiding in het resultaat is echter, wegens de kleinere 'steekproeven' aan wegen, wat groter, zodat het resultaat minder betrouwbaar is.

- Voor wegen binnen de bebouwde kom is nader onderzoek nodig.

- Voor niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom blijkt:

1. De n/t-ratio is op verlichte wegen steeds lager, en bij een middelmatig luminantieniveau reeds aanzienlijk lager, dan de ratio op onverlichte wegen.
2. Er bestaat een statistisch significante relatie tussen het luminantie-niveau en het risico bij nacht (ongevallen per voertuigkilometer). De luminantie blijkt slechts een vrij klein gedeelte van de variantie te verklaren. Het risico hangt, behalve van de verlichting, nog van andere factoren af.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
Risico	0,59	0,37	0,26

3. Er bestaat een (niet significante) tendens dat ook de dagongevallen per voertuigkilometer (op etmaalbasis) afnemen met toenemende luminantie. Het aandeel van de nachtongevallen (de n/t-ratio) neemt in aanzienlijke mate af bij toenemende luminantie.

Luminantie	$L < 0,4$	$0,4 < L < 0,73$	$L > 0,73$
n/t-ratio	0,33	0,27	0,23

4. Er zijn aanwijzingen dat het risico bij de laagste lichtniveaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg. Het heeft uit overweging van de verkeersveiligheid weinig zin om een 'slechte' verlichting aan te brengen.

- Op 70 stedelijke enkelbaans uitvalswegen in Engeland is voor letselongevallen een duidelijke relatie gevonden tussen het gevaar en het lichtniveau. Maar ook bleek dat bij toenemende gelijkmatigheid het relatieve aandeel van de nachtongevallen toenam.

- Uit een relatie-onderzoek binnen de bebouwde kom zijn de volgende conclusies getrokken:

1. De omvang van het onderzoek is (nog steeds) niet groot genoeg om statistisch significante uitspraken te kunnen doen die betrekking hebben op afzonderlijke wegklassen.

2. Voor de wegen met een verkeersfunctie en voor de wegen met een verblijfsfunctie is de verhouding tussen de ongevallen bij duisternis en bij dag vrijwel precies gelijk, ofschoon men mag verwachten dat wegen met een verkeersfunctie een groter nachtaandeel in het verkeer hebben.

3. Op straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verblijfsfunctie correspondeert zowel op wegvakken als op kruisingen een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen. Een verdubbeling van het niveau van de verlichting blijkt te corresponderen met een afname van ca. 3% in het aantal nachtelijke ongevallen.

4. Op wegvakken van straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen.

5. Op kruisingen in straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een hoger nachtaandeel van de ongevallen.

- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat op autosnelwegen of op 80 km/uur-wegen de verkeersafwikkeling bevorderd wordt door een toename van het lichtniveau.

- Bij door bestuurders gerapporteerde visuele problemen bij het rijden bij duisternis is als belangrijkste probleem naar voren gekomen het gebrek aan informatie over het wegverloop door onvoldoende verlichting of door verblinding. De problemen namen toe bij regen. Obstakels die mogelijk gevaar met zich brachten werden niet ontmoet.

- Uit het vragen naar de opinie over de verlichting bleek dat het percentage ontevreden duidelijk afnam bij toenemende luminantie (van ruim 20% bij  $0,3 \text{ cd/m}^2$  naar 11% bij  $1,3 \text{ cd/m}^2$ ). De waardering bij regen was duidelijk beter, ofschoon de gelijkmatigheid sterk afnam. Het percentage ontevreden nam bij  $0,7 \text{ cd/m}^2$  af van 15% naar 11% bij regen, en bij  $1,3 \text{ cd/m}^2$  van 11% naar 9%.

- Uit de gegevens uit Oss blijkt dat het relatieve aandeel van misdrijven bij duisternis duidelijk afneemt bij toenemend lichtniveau. Bovendien blijkt er eveneens een dalende tendens te zijn in de verhouding tussen 'nacht'- en 'avond'-misdrijven bij toenemend lichtniveau.

● Een oriënterende studie betreffende de subjectieve ervaringen leidde tot de volgende gevolgtrekkingen

1. De meningen over de straat bij duisternis en die over de openbare verlichting zijn zeer analoog.
2. De mening over de kwaliteit van de openbare verlichting wordt uitsluitend bepaald door het lichtniveau (verlichtingssterkte); de lichtkleur speelt geen enkele rol.
3. SOX-verlichting wordt over het algemeen 'akelig' gevonden;
4. Men voelt zich 's nachts vaak onveilig op straat.
5. Het lichtniveau moet tenminste 3 à 4 lux bedragen om als voldoende beoordeeld te worden (het laagste was 1,7 lux).
6. Voor het gaan te voet werd over het algemeen juist voldoende gezien; bij het laagste niveau waarbij deze vraag is gesteld (2,8 lux) was het kennelijk te weinig.

#### 4.8. Onbeantwoorde vragen

Uit Hoofdstuk 4 komen een aantal onbeantwoorde vragen naar voren:

##### 1. *Over de ongevallenstudies*

- Welke wegen komen voor een openbare verlichting in aanmerking?
- Hoe goed is 'goed'?
- Hoe groot is de reductie (indien aanwezig) voor andere wegtypen?
- Bestaat er een dergelijke relatie voor de andere functionele aspecten van de openbare verlichting (verkeersafwikkeling, burgerlijke veiligheid, leefbaarheid)?

##### 2. *Over de hypothese het risico voor ongevallen afneemt bij een toenemend lichtniveau*

- Bestaat er een duidelijke relatie tussen de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de adaptatieluminantie?
- Bestaat er een duidelijke relatie tussen de adaptatieluminantie en de visuele prestaties?
- Bestaat er een duidelijke relatie tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid?

##### 3. *Over de invloed van het verschil in de verkeersintensiteit bij dag en bij duisternis*

- Is het juist om van de hypothese uit te gaan dat voor alle relevante wegen de verhouding tussen het verkeer bij duisternis en dat per etmaal constant is?
- Is het juist om van de hypothese uit te gaan dat voor alle relevante wegen deze verhouding niet af hangt van het lichtniveau van de openbare verlichting?

## 5. DE DOELMATIGHEID VAN OPENBARE VERLICHTING

### 5.1. Doeltreffendheid en doelmatigheid

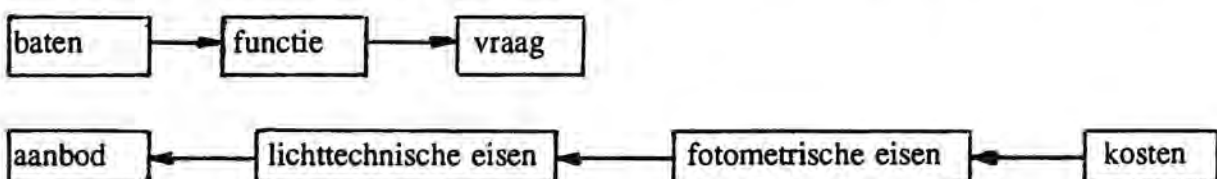
Voor het bepalen van de waarde van een verkeersveiligheidsmaatregel - in feite geldt dit ook voor iedere activiteit - zijn twee gezichtspunten van belang: de *doeltreffendheid* en de *doelmatigheid*. Onder het eerste wordt verstaan of het gewenste doel ook inderdaad wordt bereikt (de effectiviteit), onder het tweede of de baten de kosten overtreffen (de efficiency).

In Hoofdstuk 4 hebben we de doeltreffendheid van de openbare verlichting bekeken. Het eindoordeel is dat openbare verlichting in het algemeen aan de te stellen doelen kan beantwoorden: openbare verlichting leidt tot een verbetering van de verkeersveiligheid. Als zodanig hebben we geconcludeerd dat de openbare verlichting een *doeltreffende maatregel* is.

In dit hoofdstuk zullen we bekijken in hoeverre openbare verlichting ook een *doelmatige* maatregel is. Bij de doelmatigheidsanalyse gaat het om de vergelijking van de *kosten* en de *baten* van de maatregel. Zowel de kosten als de baten kunnen worden onderverdeeld in *monetaire* en *niet-monetaire* aspecten. Veelal beperkt men zich tot de monetaire aspecten, omdat in vele kringen beleid geacht wordt beperkt te zijn tot het toedelen van geld. In sommige gevallen wordt nog verder gegaan; daar wordt uitsluitend gekeken naar de monetaire kosten en de monetaire baten van de beheerder van de verlichting (meestal een gemeente). Wanneer men op deze beperkte wijze te werk gaat, moet worden geconstateerd dat de (monetaire) doelmatigheid van de maatregel op zich nog niet een criterium kan zijn voor het al dan niet toepassen van die maatregel. Er kunnen andere overwegingen zijn die de doorslag geven. Dit is de belangrijkste reden om bij de besluitvormingsprocedures een meer complete doelmatigheidsanalyse te gebruiken, en wel een analyse die het verschil kent tussen positieve baten en negatieve kosten, die een inbreng van monetaire kosten en monetaire baten van verschillende betrokkenen mogelijk maakt, en die de invloed van niet-monetaire kosten en baten kan verwerken. In par. 5.2 komen terug op deze materie; voor nadere details zij verwezen naar Flury (1977, 1984, 1989, 1990, 1992).

### 5.2. Doelmatigheidsanalyse

In par.4.1 hebben we aangegeven dat de meeste openbare verlichting functioneel is. Aan de hand van functionele vereisten kunnen zichtbaarheidseisen worden opgesteld. Aan de hand daarvan kunnen de lichttechnische eisen worden opgesteld die kunnen worden vertaald in de fotometrische en geometrische eisen. We hebben voorts een schema opgesteld dat deze eisen in hun onderlinge samenhang weergeeft. Wanneer dit schema wordt uitgebreid met de 'baten' aan de kant van de functionele vereisten, en met de 'kosten' aan de kant van de installatie, ziet het er als volgt uit:





De mate waarin de verlichting aan de functie(s) kan voldoen, hangt voor een groot deel af van de kwaliteit. En deze is voor een aanzienlijk deel maatgevend voor de kosten van de verlichting. Om te komen tot een optimale besteding van gelden is derhalve een vergelijking tussen de 'kosten' en de 'baten' van de openbare verlichting nodig. Dit is het oogmerk van de kosten/baten-analyses, ook wel doelmatigheidsanalyses genoemd.

Kosten/baten-analyses kunnen zich in een grote belangstelling verheugen. Dat is ook wel te begrijpen: aan de hand ervan is na te gaan of men wel 'waar krijgt voor zijn geld'. Maar men moet zich realiseren dat een kosten/baten-analyse alleen gegevens oplevert die voor beslissingen bruikbaar zijn, wanneer aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Een aantal van deze voorwaarden zijn voor de hand liggend. Zo moeten de gegevens die worden gebruikt, van behoorlijke kwaliteit zijn. Ook moeten ze relevant zijn, en moeten dubbeltellingen worden vermeden. En ook moeten de (klassen) van gegevens compleet zijn: lacunes kunnen de resultaten scheef trekken. Dit wil nogal eens gebeuren: men 'vergeet' (expres of per ongeluk) wel eens ongewenste factoren, en komt dan tot een resultaat dat wel plezierig kan zijn, maar niet juist.

Boekhoudkundig is negatieve winst en positief verlies vaak identiek. Ook zijn kosten gelijk aan kosten. Maatschappelijk kan dit anders liggen; zo zijn kosten te maken door de consument niet gelijk aan kosten te maken door de overheid. 'Vestzak-broekzak' blijkt in het gecompliceerde economische stelsel waar wij mee te maken hebben, maar zeer beperkt op te gaan.

Deze problemen zijn niet moeilijk op te lossen: een precieze omschrijving is meestal voldoende. Grotere moeilijkheden ontstaan wanneer het niet duidelijk is of iets tot de kosten of tot de baten moet worden gerekend. Dit komt vaak voor. Aan de hand van de verschillende vigerende economische theorieën kan de materiële schade ten gevolge van ongevallen tot de 'kosten' maar ook tot de 'baten' worden gerekend: kapitaalvernietiging is 'kosten' maar werkgelegenheid is (in geval van een grote werkeloosheid) 'baten'. Ook hier kan een precieze omschrijving helpen, maar er blijven 'ideologische' factoren over. Zo kan het bevorderen van de consumptie economisch tot de 'baten' worden gerekend, maar vanuit het milieu gezien, tot de 'kosten'.

Een probleem is dat de meeste kosten en baten *meer-dimensioneel* zijn. Dat wil zeggen dat ze voor een deel monetair van aard zijn, en voor een deel niet-monetair. Deze onderverdeling is uiteraard erop gebaseerd dat er geen 'monetaire vertaalsleutel' bestaat voor de niet-monetaire factoren. Deze dimensies (er kunnen er meer dan twee zijn) dienen derhalve apart te worden bekeken. Om toch tot een enkele kosten/baten-vergelijking en tot een enkele beslissing te kunnen komen, moeten ze op 'één noemer' worden gebracht; dit betekent dat er weegfactoren moeten zijn. Als voorbeeld: hoe moeten ongevallen en misdrijven onderling worden gewogen?

Ongevallen en misdrijven zijn 'aftelbaar'. Er is geen twijfel dat vier ongevallen tweemaal zo 'erg' is als twee ongevallen (mits ze uiteraard even ernstig zijn). Maar vele incidenten zijn niet aftelbaar; er kunnen geen *metrische* of *intervalschalen* worden opgesteld. Vaak kan wel een *ordinale* schaal worden opgesteld: een zwaargewonde is 'erger' dan een lichtgewonde, ook al is niet eenduidig vast te stellen *hoeveel* erger. Er zij op gewezen dat een nominale schaal wel degelijk kwantitatief is: er moeten immers grootten worden vastgesteld vooraleer ze kunnen worden vergeleken.

In de praktijk kunnen al deze problemen tegelijk voorkomen. Een aantal voorbeelden waarbij dit gebeurt, zijn gegeven in Flury (1989), waarin de relatie tussen de kosten en de baten bij een aantal maatregelen, die op bepaalde doelgroepen zijn gericht, worden geanalyseerd. Een aantal van de hierboven geciteerde problemen zijn daar verder besproken (zie ook Flury, 1977; 1992).

### 5.3. Kosten en baten van openbare verlichting

#### 5.3.1. De kosten

In Hoofdstuk 4 is de *doeltreffendheid* van openbare verlichting besproken. De conclusie is dat verlichting een doeltreffende maatregel is; de volgende vraag is of men ook 'waar voor zijn geld' krijgt; anders gezegd, of de verlichting een *doelmatige* maatregel is. Om dit te kunnen vaststellen, is allereerst inzicht in de kosten nodig.

Bij de kosten moet niet alleen aan de rechtstreeks in geld uit te drukken bedragen worden gedacht. De *monetaire kosten* zijn te verdelen in drie onderdelen:

- de installatiekosten;
- de energiekosten (stroomkosten);
- de onderhoudskosten.

In eerste benadering zijn de installatiekosten en de onderhoudskosten onafhankelijk van het lichtniveau, en de stroomkosten recht evenredig met het lichtniveau. Bij weinig (nachtelijk) verkeer zullen de kosten dus veelal hoger zijn dan de baten; bij veel nachtelijk verkeer kan het omgekeerde optreden.

Er zij op gewezen dat het vaststellen van de kosten van de verlichting, zelfs wanneer men zich tot de monetaire kosten beperkt, bepaald geen eenvoudige zaak is. De NSvV heeft een nog niet gepubliceerde studie dienaangaande uitgevoerd, waaruit blijkt dat zelfs een op het oog zo eenvoudige zaak als de 'kosten per lichtpunt' voor overigens vergelijkbare situaties vaak 30 tot 50% kunnen schelen. De reden is vaak dat er verschillende delen van de installatie aan de openbare verlichting worden toegerekend, maar ook dat er (bijvoorbeeld door de electriciteitsbedrijven) verschillende tarieven worden gebruikt. Gegevens hierover zijn moeilijk te verkrijgen. Zie Guldmond (1992), Steenks (1992) en Van den Brink (1992). Aan de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSvV zal een apart deel over kosten en kostenbepalingen worden toegevoegd (NSvV 1990).

De *niet-monetaire kosten* betreffen drie milieu-aspecten:

- het energiegebruik (grondstoffengebruik);
- de met de energie-opwekking gepaard gaande uitstoot en productie van afval (CO<sub>2</sub>; zwavel; radio-actieve produkten);
- 'lichtvervuiling' (strooilicht en intrusie).

#### 5.3.2. De baten

De *baten* zijn eveneens te verdelen in *monetaire baten* en *niet-monetaire baten*. Voor iedere van de in par. 4.1 genoemde functies kunnen deze kosten worden bepaald. In beginsel tenminste; in de praktijk valt dit vaak tegen omdat vaak de noodzakelijke gegevens ontbreken.

### 5.3.3. Kosten/baten-analyses van verlichting

Kosten/baten-analyses betreffende openbare verlichting kunnen in beginsel voor drie doelen worden gebruikt:

- het beoordelen van de algemene doelmatigheid van openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel;
- het bepalen van het lichtniveau (of de range van lichtniveaus) waar de openbare verlichting doelmatig is;
- het bepalen van het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken.

#### 5.3.3.1. De algemene doelmatigheid

Uit onderzoek komt duidelijk naar voren dat het aanbrengen van openbare verlichting een maatregel is die gepaard gaat met een afname van de verkeersonveiligheid; het is dus een doeltreffende maatregel. Een andere vraag is of de maatregel ook doelmatig is.

Ofschoon er met openbare verlichting aanzienlijke kosten zijn verbonden, en de baten zeer aanzienlijk kunnen zijn (zie Hoofdstuk 4), is er vrijwel geen enkele studie bekend waarbij deze twee zijn vergeleken. Het nieuwe CIE-rapport (CIE, 1993) heeft een heel hoofdstuk gewijd aan 'costs and benefits of road lighting'. Maar naast een opsplitsing van de kosten en de baten zijn er alleen maar twee (oude) verwijzingen:

1. De verbetering van 104 km weg kostte A\$ 0,5M, en leverde A\$ 1,9M op aan 'voorspelde' ongevallenreductie, een kosten/batenverhouding van 3,8 (Turner, 1972).
2. Op een onduidelijke wijze (via OECD, 1972) is verwezen naar de bekende Engelse studie waarvoor is aangegeven dat de reductie in de kosten van ongevallen voldoende was om aanleg en onderhoud van de verbeterde straatverlichting te financieren (CIE, 1993, blz. 105). In de OECD-studie is daaraan toegevoegd: 'ook al was het moeilijk om de geldswaarden ervan te schatten' (OECD, 1972, blz. 21). Daarbij is verwezen naar Anon (1963) en Tanner & Harris (1955). In Anon 1963 is overigens in het geheel niet over kosten/baten-analyses gerept.

CIE (1993) geeft wel enige informatie over een plaatsingscriterium voor openbare verlichting, gebaseerd op ongevallen. Daarbij worden de volgende citaten gegeven:

- Voor stedelijke hoofdwegen is verlichting gerechtvaardigd wanneer er meer dan 1 letselongeval bij duisternis per km per jaar plaatsvindt (Fisher, 1973; NAASRA, 1988)
- Voor wegen buiten de bebouwde kom is verlichting gerechtvaardigd wanneer er meer dan 0,6 letselongeval bij duisternis per km per jaar zijn als goedkope verlichting (houten palen) wordt toegepast en 1,4 per km per jaar als palen met een breekconstructie worden toegepast (Skene & Turner, 1976).
- In Zweden (Anon, 1985) is aangegeven dat verlichting nodig is wanneer er meer nachtelijke ongevallen (totaal) zijn dan:
  - 2,5 per km per jaar voor autosnelwegen
  - 1,3 per km per jaar voor rurale tweestrookswegen
  - 0,7 per jaar voor rurale kruispunten.

Deze waarden liggen onderling ver uiteen; gemiddeld zijn er in Nederland 3 à 6 geregistreerde u.m.s.-ongevallen per geregistreerd letselongeval.

De opgegeven waarden lijken erg streng. Ter vergelijking zij aangegeven dat in Nederland een locatie (meestal een kruising) als een 'verkeersongevallenconcentratie' (VOC) wordt aangemerkt wanneer er in een periode van drie opeenvolgende jaren ten minste 6 letselongevallen of 12 ongevallen inclusief u.m.s. hebben plaatsgevonden. De Zweedse eisen van 0,7 ongeval per jaar voor rurale kruisingen zijn dus ongeveer zes maal strenger; waarschijnlijk zou dit voor Nederland betekenen dat het overgrote deel van de kruisingen verlicht zou moeten worden. Het is niet bekend of in Zweden deze richtlijnen ook inderdaad worden aangehouden.

Deze onzekerheden maken een ding duidelijk: er is behoefte aan betrouwbare getallen, en ook aan beter inzicht en aan goed overwogen criteria, vooraleer kosten/baten-analyses met enig nut kunnen worden toegepast op de aanwezigheid van openbare verlichting.

### 5.3.3.2. De invloed van het lichtniveau op de baten

In par. 5.3.2 zijn we in detail ingegaan op de vraag in welke mate de baten (in de eerste plaats de reductie in ongevallen, maar verder ook de reductie in misdrijven, de verbetering van de subjectieve ervaringen en de bevordering van de leefbaarheid) afhangen van het lichtniveau. De gebruikte hypothese was dat de baten van de openbare verlichting toenemen bij een toenemend lichtniveau. De algemene conclusie was dat de uitslag over het algemeen positief is, maar dat er een aantal - deels verklaarbare, deels niet verklaarbare - uitzonderingen zijn gevonden. Ook bleek in een aantal gevallen het eventuele verband niet of nauwelijks aantoonbaar te zijn.

Wat betreft de verkeersveiligheid zijn de monetaire baten afgeleid van de kosten van de ongevallen, waarbij men ervan uitgaat dat men kan bepalen hoeveel ongevallen door een verkeersveiligheidsmaatregel kunnen worden voorkomen ('bespaard'). Als uitgangspunt wordt de totale nationale economische schade op jaarbasis gebruikt. Men stelt de kosten van deze schade gewoonlijk op een bedrag tussen de 6 en 15 miljard gulden, afhankelijk van de economische definitie van schade. De niet-monetaire baten betreffen (het voorkomen van) menselijk leed, verlies van levenskansen en van levensvreugde. Het is moeilijk - hoewel niet onmogelijk - om een monetair equivalent voor deze niet-monetaire schade te definiëren.

### 5.3.3.3. Kosten en baten van afzonderlijke verlichtingsinstallaties

Om te beginnen worden voor de betreffende wegvakken de aantallen ongevallen verzameld, opgesplitst naar uitsluitend materiële schade (u.m.s.), en slachtoffers, resp. met letsel en verkeersdoden. In een eerdere studie heeft Flury (1984) voor dergelijke ongevallen richtbedragen vastgesteld, en wel:

een u.m.s.-ongeval	f	9.540.-
een letselslachtoffer	f	25.620.-
een verkeersdode	f	1.090.000.-

Vermenigvuldiging van de aantallen met de bedragen geeft de totale schade, in geld uitgedrukt. We hebben reeds vermeld dat openbare verlichting als een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel geldt; in eerste benadering kan men aannemen dat openbare verlichting leidt tot een halvering van de nachtelijke ongevallen. De helft van het schadebedrag is dus de 'baat' van de maatregel. Op basis van enige eenvoudige vuistregels over

installatiekosten, energiekosten en onderhoudskosten is een schatting gemaakt van de 'kosten' van de openbare verlichting. Vergelijking van de 'baten' en de 'kosten' (beide uitgedrukt in gulden per km) levert het antwoord op de vraag de verlichting doelmatig is.

De kosten van ongevallen zijn ontleend aan Flury (1984). Ze zijn bij benadering opgehoogd tot 1989. Voorts nemen we aan dat voor iedere verkeersdode ongeveer 25 slachtoffers met letsel voorkomen, en ca. 100 u.m.s.-ongevallen. Voorts stellen we het aantal slachtoffers en het aantal ongevallen met slachtoffers gelijk. Ook deze aannamen zijn niet meer dan een globale benadering. Met deze aannamen vinden we voor de kosten van ongevallen, toegerekend aan letselongevallen

4 u.m.s.-ongevallen	= 4	x	9.540,-	= f	38.160.-
1 letselslachtoffer	= 1	x	25.620.-	= f	25.620.-
1/25 dode	= 0,04	x	1.090.000,-	= f	43.600.-
Totaal per letselongeval				= f	107.380.-

We stellen de verkeersintensiteit bij het 'break-even point' gelijk aan  $x$ , uitgedrukt in het aantal voertuigen per etmaal. Bij duisternis is de intensiteit bij benadering  $0,25x$ . Per jaar is het verkeersaanbod  $365x$ . Uit eerdere studies zijn waarden bekend over het aantal slachtofferongevallen (letselongevallen en ongevallen met doden) per miljoen voertuigkilometer voor verschillende wegtypen (zie bijvoorbeeld Janssen, 1988). Als voorbeeld nemen we wegen met gemengd verkeer buiten de bebouwde kom. De ongevalenfrequentie voor zulke wegen ligt in de buurt van 0,30 (uitgedrukt in het aantal letselongevallen en ongevallen met doden per miljoen voertuigkilometer). Hiervan kan volgens par. 4.3.3.2 ongeveer de helft worden bespaard.

Voor de kosten van de verlichting wordt nogal eens een bedrag genoemd van f 33 000.- per km per jaar (BGC, 1990). Voor het 'break-even point' vinden we de volgende waarde:

$$0,5 * 0,25 * 365 * x * 0,30 * 10^{(-6)} * 107.380 = 33.000$$

Hieruit volgt voor  $x = 22.453$ .

Dit betekent dus dat onder de gebruikte aannamen het aanbrengen van openbare verlichting op wegen met gemengd verkeer buiten de bebouwde kom met ruim 22.000 voertuigen per etmaal *gemiddeld* doelmatig ('cost-effective') is. Wanneer meer accurate gegevens in de beschouwingen worden gebruikt, kan dit resultaat nog worden toegescherpt. Wegens de gebruikte aannamen en benaderingen moet voor individuele wegvakken met een grote spreiding worden gerekend.

#### 5.3.3.4. Bepaling van het doelmatige lichtniveau

In par. 5.3.3.1 is in algemene termen nagegaan wanneer openbare verlichting doelmatig is. Nu hangen zowel de 'kosten' als de 'baten' van de verlichting af van het lichtniveau, maar - zeker wat betreft de kosten - niet volgens een eenvoudige evenredigheid. Bij een zeer laag lichtniveau zijn de kosten relatief hoog, en is de doelmatigheid twijfelachtig. Bij een zeer hoog lichtniveau kan men wat betreft de baten komen in het gebied van de 'verminderde meeropbrengst' zodat daar de doelmatigheid niet verder toeneemt bij toenemende kosten. Het is momenteel niet mogelijk om een uitgewerkt voorbeeld te geven.

### 5.3.3.5. Het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken

Ook voor afzonderlijke weggedeelten kan de doelmatigheid van openbare verlichting aan de hand van kosten/baten-analyses worden bepaald. De eerste opgave is het nagaan bij welke verkeersintensiteit het 'break-even point' gevonden wordt.

De in par. 5.3.3.3 en in 5.3.3.4 gegeven simpele rekensommen zijn goed bruikbaar om een eerste benadering van de doelmatigheid te vinden; dit is in de meeste gevallen voldoende. In een aantal gevallen is het echter nodig het 'break-even point' nauwkeuriger te weten. In dat geval moet met een aantal aanvullende aspecten rekening worden gehouden.

#### *A. Schatting van het aantal ongevallen.*

Het aantal ongevallen in het verleden is een vrij onnauwkeurige schatting van de te verwachten ongevallen in de toekomst. Dit gebrek aan nauwkeurigheid is het gevolg van het statistische toevalskarakter van verkeersongevallen. Deze voldoen bij goede benadering aan een Poisson-verdeling; bij kleine aantallen is het geconstateerde aantal een slechte Poisson-schatter. Deze verwachting is nodig als uitgangspunt om de situatie *met* en de situatie *zonder* maatregel met elkaar te kunnen vergelijken. Een alternatief is het gebruik van gemiddelde ongevallenfrequenties op wegen van dezelfde klasse. Wanneer deze frequentie wordt vermenigvuldigd met de uit de waarnemingen afgeleide te verwachten verkeersintensiteit, vindt men eveneens een schatting van het toekomstige aantal ongevallen. Deze schatting is voor 'normale' wegvakken waarschijnlijk nauwkeuriger dan de extrapolatie van het getelde aantal ongevallen. Een probleem is dat niet precies kan worden aangegeven wat 'normaal' hierbij betekent.

De gebruikte waarde voor het aantal letselongevallen en ongevallen met doden per miljoen voertuigkilometer zijn afkomstig uit een door de SWOV uitgevoerde landelijke studie. Deze waarden representeren dus een landelijk gemiddelde. De wegen met gemengd verkeer buiten de bebouwde kom, die in ons voorbeeld eventueel voor verlichting in aanmerking komen, zijn in verschillende wegklassen te vinden. Zelfs op landelijke basis is een grote spreiding in de ongevallenfrequentie te verwachten.

Voor een dergelijke benadering is het dus nodig het wegtype te kennen. Maar dit is niet voldoende; immers, ook binnen wegtypen kunnen grote variaties optreden in de ongevallenfrequentie, deels ten gevolge van verschillende wegkenmerken, deels ten gevolge van plaatselijke factoren. Tenslotte moet ermee worden gerekend dat de gebruikte waarden de slachtofferongevallen betreffen; dat wil zeggen: ongevallen met licht gewonden, in een ziekenhuis opgenomen gewonden, en doden. Nu is het bekend dat de relatieve frequentie van deze categorieën van ongevallen sterk uiteen loopt voor verschillende wegtypen. De snelheid en de verkeerssamenstelling hebben daarbij een grote invloed. Dit wordt nog sterker wanneer ongevallen met uitsluitend materiële schade worden toegevoegd. Tenslotte zijn deze relatieve ongevallenfrequenties bij dag en bij duisternis zeer verschillend.

De frequenties zijn opgegeven in ongevallen per miljoen voertuigkilometer; om deze waarden te kunnen omrekenen in ongevallen per kilometer is het nodig de verkeersintensiteit te kennen. Deze is meestal niet bekend. Meting ervan brengt problemen met zich: de intensiteit kan van dag tot dag aanzienlijk schelen, zodat over een aanzienlijke tijd moet worden gemiddeld. Voorts is de verdeling over de tijd van de dag (daglicht en

duisternis) van belang, en tenslotte is de verdeling over de wijzen van verkeersdeelname (voertuigtype) van belang. Kortom, het gebruik van schattingen van de aantallen ongevallen per kilometer die op landelijke gegevens berusten, zijn al evenmin nauwkeurig.

#### **B. Kosten van ongevallen.**

De kosten van ongevallen hangen sterk af van de bij de bepaling gebruikte aannamen. Bij de studies van het Bureau McKinsey zijn voor de kosten van ongevallen bepaalde aannamen gebruikt waartegen kritiek is geuit. De kritiek betreft onder meer de economische waardetoedeling van gedeerd inkomen en gedeerde consumptie. Andere aannamen kunnen een groot verschil opleveren in de uitkomsten van de schattingen, meer in het bijzonder de in geld uitgedrukte kosten van verkeersdoden. Maar ook bij ongevallen met uitsluiten materiële schade (u.m.s.-ongevallen) kunnen grote verschillen optreden. Bij u.m.s.-ongevallen maakt het veel uit welke selectie van de ongevallen is gebruikt. Naar schatting vinden er in Nederland jaarlijks ruim 1 miljoen verkeersongevallen plaats, waarvan het overgrote deel u.m.s.-ongevallen. Daarvan komen ca. 350.000 ongevallen terecht in de VOR.

#### **5.4. Conclusies uit Hoofdstuk 5**

- Openbare verlichting leidt tot een verbetering van de verkeersveiligheid. Openbare verlichting is een doeltreffende maatregel.
- De mate waarin de verlichting aan de functie(s) kan voldoen, hangt voor een groot deel af van de kwaliteit. En deze is voor een aanzienlijk deel maatgevend voor de kosten van de verlichting.
- Zowel de kosten als de baten kunnen worden onderverdeeld in monetaire en niet-monetaire aspecten.
- De monetaire kosten zijn te verdelen in drie onderdelen:
  - de installatiekosten;
  - de energiekosten (stroomkosten);
  - de onderhoudskosten.In eerste benadering zijn de installatiekosten en de onderhoudskosten onafhankelijk van het lichtniveau, en de stroomkosten recht evenredig met het lichtniveau.
- De niet-monetaire kosten betreffen drie milieu-aspecten:
  - het energiegebruik (grondstoffengebruik);
  - de met de energie-opwekking gepaard gaande uitstoot en productie van afval (CO<sub>2</sub>; zwavel; radio-actieve produkten);
  - 'lichtvervuiling' (strooilicht en intrusie).
- Kosten/baten-analyses betreffende openbare verlichting kunnen in beginsel voor drie doelen worden gebruikt:
  - het beoordelen van de algemene doelmatigheid van openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel;
  - het bepalen van het lichtniveau (of de range van lichtniveaus) waar de openbare verlichting doelmatig is;
  - het bepalen van het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken.

- Onder de gebruikte aannamen is het aanbrengen van openbare verlichting op wegen met gemengd verkeer buiten de bebouwde kom met ruim 22.000 voertuigen per etmaal *gemiddeld* doelmatig ('cost-effective'). Wanneer meer accurate gegevens in de beschouwingen worden gebruikt, kan dit resultaat worden toegescherpt.

#### **5.5. Onbeantwoorde vragen**

Er is behoefte aan betrouwbare getallen, en ook aan beter inzicht en aan goed overwogen criteria, vooraleer kosten/baten-analyses met enig nut kunnen worden toegepast op de aanwezigheid van openbare verlichting.



## 6. TOEKOMSTVERWACHTING

### 6.1. Inleiding

In de eerste vijf hoofdstukken van deze studie hebben we een overzicht gegeven van de stand van zaken van de kennis op het gebied van de openbare verlichting. In dit hoofdstuk zullen we nagaan wat er van de toekomst verwacht kan worden, en meer in het bijzonder welk onderzoek daarbij nodig is. Ofschoon toekomstverwachtingen tamelijk speculatief zijn, en een aantal persoonlijke elementen bevatten, zijn ze nodig om een kader te verschaffen voor het onderzoek. We zullen daarbij vooral aandacht besteden aan *nieuw* onderzoek; onderzoek dat al in behandeling is, wordt niet in detail besproken.

Het opstellen van toekomstverwachtingen is een hachelijke zaak. Het is natuurlijk heel goed mogelijk om de trend van de laatste jaren door te trekken naar de naaste toekomst, maar zelf de meest oppervlakkige beschouwing van het recente verleden maakt duidelijk dat extrapolaties over meer dan enige jaren weinig betekenis hebben. Het is zelfs retrospectief vaak moeilijk om de technische, economische, politieke en sociale gebeurtenissen van de jaren 1990 en 1991 af te leiden met behulp van een extrapolatie van de feiten uit zeg 1983 tot 1988. Het gevaar bestaat echter ook dat men, om het gevaar van een klakkeloze extrapolatie te vermijden, zich gaat verliezen in toekomstbeelden waarbij de realiteit wat uit het oog wordt verloren.

### 6.2. De toekomst van de straatverlichting

#### 6.2.1. Premissen

Wanneer we bij het onderwerp van deze studie, namelijk de openbare straatverlichting, blijven, is het wellicht iets gemakkelijker om een toekomstprojectie op te stellen dan bij de bespreking van sommige andere aspecten van het wegverkeer en van de verkeersveiligheid. De reden is dat straatverlichting alleen zinvol is wanneer de situatie in de toekomst veel blijft lijken op de situatie die we nu zien. Openbare verlichting is alleen van belang wanneer er veel wegverkeer is dat voor een aanzienlijk deel bij duisternis wordt afgewikkeld, en dat bestaat uit afzonderlijke 'eenheden' die ieder door een individuele bestuurder worden bestuurd op basis van *ad hoc* en *in situ* te verzamelen visuele informatie. Zou het wegverkeer gedecimeerd worden, zouden (bijvoorbeeld uit milieu-overwegingen) geen auto's bij duisternis rijden, zouden vergaderingen per telefoon en werkzaamheden per modem gebeuren, zouden er alleen treinen rijden, zouden de auto's tot slangen gekoppeld worden, zou elektronische in plaats van visuele informatie worden gebruikt, dan verliest de verlichting van verkeerswegen een belangrijk deel van haar taak, en is misschien helemaal niet meer nodig.

Een essentiële factor van alle toekomstvisies is de 'looptijd'. In de politiek beperkt men zich meestal tot een korte looptijd: de lopende of ten hoogste de volgende kabinetsperiode. Voor economische prognoses is zelfs dit meestal te lang: daar gaat het om een of twee jaar. Gaat het om maatschappelijke aspecten, het milieu daarbij inbegrepen, dan denkt men meestal niet verder dan één generatie: 'onze kinderen...'. Voor ons onderwerp lijkt de levensduur van een verlichtingsinstallatie een goed uitgangspunt: 10 tot 15 jaar. Het spreekt van zelf dat deze periode niet meer is dan een heel globale aanduiding.

Voor de toekomstprojectie wat betreft de straatverlichting zullen we ons beperken tot een aantal premissen die, apart of tezamen, waarschijnlijk eerder zullen leiden tot een geleidelijke verschuiving dan tot een revolutie. In par. 3.7.2 hebben we een aantal technische en organisatorische aspecten besproken, die hierbij aan de orde kunnen komen. Deze premissen zijn afgeleid uit wat men vandaag de dag kan constateren, of wat men weet dat te gebeuren staat. Plotselinge omwentelingen of plotselinge, dramatische of catastrofale gebeurtenissen laten we buiten beschouwing, omdat daarop geen zinvolle toekomstprojectie kan worden gebaseerd. De belangrijkste elementen uit deze premissen zijn:

- het beheer van openbare verlichting blijft bij de overheid, maar wordt sterker gedecentraliseerd richting lagere overheden;
- het beheer wordt meer geautomatiseerd en meer opgenomen in het algemene beheer van de technische diensten;
- de regelgeving wordt op Europese leest geschoeid;
- de aansprakelijkheid van de beheerder van de verlichting wordt vergroot (produktaansprakelijkheid);
- het beheer wordt meer managerial of financieel/economisch dan technisch;
- milieu-overwegingen zullen een zeer veel grotere rol spelen - niet alleen wat betreft het energiegebruik, maar ook wat betreft de grondstoffen en vooral wat betreft het afval en de uitstoot;
- de consumenten (de bevolking) krijgt meer zeggenschap over de uitvoering en het bedrijven van de verlichting;
- de wegennetten worden opgesplitst in drie functies: stromen - ontsluiten - verblijven;
- de verlichting voor de verkeersgebieden (stromen en ontsluiten) zal moeten worden aangepast aan een aanzienlijke toename van het nachtelijke verkeer, met name van het goederenverkeer, over de weg;
- de verlichting in verblijfsgebieden wordt meer op de burgerlijke veiligheid en op de leefbaarheid afgesteld, en minder op het gemotoriseerde verkeer;
- technische verbeteringen zijn vooral in de elektrotechnische (elektronische) aspecten te vinden en minder in de lichttechnische;
- nieuwe lampen zijn niet te verwachten, wel verbeteringen in de efficiency van de lichtbronnen en van de armaturen;
- wellicht zullen lichtgeleiders op een ruimere schaal toepassing vinden, ook bij de straatverlichting;
- er zullen ingrijpende veranderingen plaatst vinden in de wegenbouw.

### 6.2.2. De toekomstige verlichting

Wanneer men probeert zich een beeld te vormen van de straatverlichting over 10 à 15 jaar, rekening houdend met de bovengenoemde premissen, dan zal waarschijnlijk de eis van een *hoog rendement* voorop staan, zowel wat betreft de energie (grondstoffen enz.) als wat betreft de financiën. Als tweede eis zal waarschijnlijk de *betrouwbaarheid* naar voren komen, met het oog op de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid. Een goed en efficiënt beheer en goed onderhoud, maar ook goede controle in nieuwe toestand en in gebruikstoestand zullen van belang blijken te zijn. Aan de *sociale veiligheid* en de *leefbaarheid* in verblijfsgebieden zal meer gewicht worden toegekend. Tenslotte zullen velen die tot nu toe niet veel met verlichting te maken hebben gehad, belast worden met het beheer. Wegens de daarmee gepaard gaande afname van de expertise zal meer worden *uitbesteed*.

Dit zal leiden tot hoge eisen aan het *ontwerp* en aan het *beheer* van de verlichting. De onderhavige studie betreft uiteraard in de eerste plaats de technische en lichttechnische aspecten van het ontwerp en het beheer van de verlichting. Omdat de verlichting steeds als een onderdeel van het verkeerssysteem als geheel is beschouwd, moet ook naar de aspecten van het algemene ontwerp en het algemene beheer van het gehele verkeerssysteem worden gekeken. In vele gevallen zullen de aspecten van het gehele verkeerssysteem de randvoorwaarden zijn voor de lichttechnische aspecten.

Dit leidt tot drie terreinen voor nader onderzoek:

1. Aspecten die met het verkeerssysteem als geheel te maken hebben (*algemene aspecten*).
2. Aspecten die met de grondslagen voor het ontwerp te maken hebben (*fundamentele aspecten*).
3. Aspecten die met de technische realisering van de verlichting te maken hebben (*technische aspecten*).

In Hoofdstuk 7 gaan we nader in op de onderwerpen voor nader onderzoek. Ook zijn aanzetten gegeven voor die onderzoekingen waarvoor de prioriteit het hoogste wordt ingeschat.

### 6.3. Conclusies uit Hoofdstuk 6

- Openbare verlichting is alleen van belang wanneer er veel wegverkeer is dat voor een aanzienlijk deel bij duisternis wordt afgewikkeld, en dat bestaat uit afzonderlijke 'eenheden' die ieder door een individuele bestuurder worden bestuurd op basis van *ad hoc* en *in situ* te verzamelen visuele informatie.
- De levensduur van een verlichtingsinstallatie (10 tot 15 jaar) kan worden gebruikt als looptijd voor een toekomstvisie.
- Voor de openbare verlichting over 10 à 15 jaar kan worden verwacht dat de eis van een hoog rendement voorop zal staan (zowel de energetisch als financieel). Voorts de betrouwbaarheid, mede met het oog op de verantwoordelijkheid en de aansprakelijkheid. Naar verwachting zal aan de sociale veiligheid en de leefbaarheid in verblijfsgebieden meer gewicht worden toegekend.
- Velen die tot nu toe niet veel met verlichting te maken hebben gehad, zullen naar verwachting worden belast met het beheer. Dit zal leiden tot meer uitbesteding.
- Op drie terreinen zal nader onderzoek nodig zijn:
  - aspecten die met het verkeerssysteem als geheel te maken hebben (*algemene aspecten*);
  - aspecten die met de grondslagen voor het ontwerp te maken hebben (*fundamentele aspecten*);
  - aspecten die met de technische realisering van de verlichting te maken hebben (*technische aspecten*).

## 7. TOEKOMSTIG ONDERZOEK

### 7.1. Onderwerpen voor nader onderzoek: Agemene aspecten

In par. 2.3 is een globale opsomming gegeven van een aantal aspecten ('onbeantwoorde vragen') die met het verkeerssysteem als geheel te maken hebben. Op een aantal gebieden is nadere kennis nodig. De onderwerpen die in deze paragraaf zijn opgesomd zijn van algemene aard, en hebben geen speciale relatie met de verlichting. Het gaat om kennis die om andere redenen en in andere context reeds wordt verzameld; het belang voor de verlichting is vooral dat de gegevens (tijdig) ter beschikking worden gesteld. In de praktijk komt het er in de eerste plaats op neer dat de bestanden van de gegevens worden verschaft en op elkaar afgestemd. Het is dan ook niet noodzakelijk om in detail aan te geven hoe de betreffende gegevens verzameld moeten worden; we volstaan hier met een opsomming van de onderwerpen.

- prognoses over de economische ontwikkelingen van Nederland, maar ook van Europa en van de wereld;
- prognoses over verkeer en vervoer;
- prognoses over het wegennet;
- prognoses over voertuiggebruik, verdeling over voertuigen en verdeling over het etmaal;
- prognoses over de onveiligheid van het verkeer;
- prognoses over de ontwikkeling van het verkeersbeleid en het verkeersveiligheidsbeleid;
- prognoses over de ontwikkelingen in het maatschappelijk bestel;

### 7.2. Onderwerpen voor nader onderzoek: Fundamentele aspecten

Naast de algemene kennis die in par. 3.9 is besproken, is kennis nodig over een aantal onderwerpen die veel directer te maken hebben met de verlichting. In par. 3.3 is een overzicht gegeven van de kennis op deze terreinen die momenteel ter beschikking staat. De belangrijkste onderwerpen zijn de rijtaak en de visuele taak.

#### 7.3.1. *De rijtaak*

Hieronder wordt een aantal onderwerpen genoemd die een nauwe relatie hebben met de verlichting, zonder er exclusief mee verbonden te zijn. De meeste punten komen aan de orde bij het onderzoek naar de 'analyse van de rijtaak'. Dit onderzoek loopt reeds vele jaren zonder dat een definitieve afsluiting is gevonden. In par. 3.3.1.3 is reeds aangegeven dat er op dit gebied reeds veel onderzoek is uitgevoerd, en nog steeds wordt uitgevoerd. Er is echter voor het specifieke terrein van de verlichting een aantal aspecten aan te wijzen waarover nadere kennis gewenst is:

- waarneembaarheid van objecten (waarnemingspsychologie)
  - . de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz);
  - . het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.)
  - . de adaptatietoestand;
- beslissingspsychologie;
- de rijtaak (Taak I en Taak II);
- operationaliseren van het begrip 'rijcomfort'.

## 7. TOEKOMSTIG ONDERZOEK

### 7.1. Onderwerpen voor nader onderzoek: Agemene aspecten

In par. 2.3 is een globale opsomming gegeven van een aantal aspecten ('onbeantwoorde vragen') die met het verkeerssysteem als geheel te maken hebben. Op een aantal gebieden is nadere kennis nodig. De onderwerpen die in deze paragraaf zijn opgesomd zijn van algemene aard, en hebben geen speciale relatie met de verlichting. Het gaat om kennis die om andere redenen en in andere context reeds wordt verzameld; het belang voor de verlichting is vooral dat de gegevens (tijdig) ter beschikking worden gesteld. In de praktijk komt het er in de eerste plaats op neer dat de bestanden van de gegevens worden verschaft en op elkaar afgestemd. Het is dan ook niet noodzakelijk om in detail aan te geven hoe de betreffende gegevens verzameld moeten worden; we volstaan hier met een opsomming van de onderwerpen.

- prognoses over de economische ontwikkelingen van Nederland, maar ook van Europa en van de wereld;
- prognoses over verkeer en vervoer;
- prognoses over het wegennet;
- prognoses over voertuiggebruik, verdeling over voertuigen en verdeling over het etmaal;
- prognoses over de onveiligheid van het verkeer;
- prognoses over de ontwikkeling van het verkeersbeleid en het verkeersveiligheidsbeleid;
- prognoses over de ontwikkelingen in het maatschappelijk bestel;

### 7.2. Onderwerpen voor nader onderzoek: Fundamentele aspecten

Naast de algemene kennis die in par. 3.9 is besproken, is kennis nodig over een aantal onderwerpen die veel directer te maken hebben met de verlichting. In par. 3.3 is een overzicht gegeven van de kennis op deze terreinen die momenteel ter beschikking staat. De belangrijkste onderwerpen zijn de rijtaak en de visuele taak.

#### 7.3.1. *De rijtaak*

Hieronder wordt een aantal onderwerpen genoemd die een nauwe relatie hebben met de verlichting, zonder er exclusief mee verbonden te zijn. De meeste punten komen aan de orde bij het onderzoek naar de 'analyse van de rijtaak'. Dit onderzoek loopt reeds vele jaren zonder dat een definitieve afsluiting is gevonden. In par. 3.3.1.3 is reeds aangegeven dat er op dit gebied reeds veel onderzoek is uitgevoerd, en nog steeds wordt uitgevoerd. Er is echter voor het specifieke terrein van de verlichting een aantal aspecten aan te wijzen waarover nadere kennis gewenst is:

- waarneembaarheid van objecten (waarnemingspsychologie)
  - . de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz);
  - . het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
  - . de adaptatietoestand;
- beslissingspsychologie;
- de rijtaak (Taak I en Taak II);
- operationaliseren van het begrip 'rijcomfort'.

Uit de bespreking van de stand van zaken in de Hoofdstukken 2 t/m 5 van dit rapport blijkt dat het inderdaad gaat om een 'wens' naar aanvullende kennis; het huidige werk aan het ontwerp en beheer van openbare verlichting wordt niet onnodig moeilijk (of zelfs onmogelijk) gemaakt zo lang die kennis niet beschikbaar is. Dit laatste lijkt veel meer het geval te zijn bij het volgende onderwerp: de visuele taak.

### *7.2.2. De visuele taak*

Onder de visuele taak wordt verstaan die aspecten binnen de rijtaak die meer in het te maken hebben met de visuele waarneming. In essentie gaat het daarbij om de vraag: 'wat moet worden gezien?' In par. 3.3.1.5 is ingegaan op een aantal beginselen van de visuele taak, meer in het bijzonder aangaande de visueel relevante en de visueel kritische elementen. Pas wanneer vrij precies bekend is wat de visueel relevante en wat de visueel kritische elementen zijn, is een goed verlichtingsontwerp en een goed verlichtingsbeheer mogelijk. Daarom is aan dit terrein een hoge prioriteit gegeven. In par. 3.3.1.7 is bovendien in hoofdlijnen aangegeven wat de beginselen zijn voor een dergelijk onderzoek; de aanzet voor een onderzoekopzet is gegeven in par. 7.2.3.

### *7.2.3. Onderzoek betreffende de rijtaak*

In deze paragraaf wordt een aanzet voor een onderzoekopzet gegeven ten aanzien van de de visueel relevante en de visueel kritische elementen.

#### *A. De visuele taak*

Op het gebied van de waarnemingsprioriteiten en de visuele selectie is nog onderzoek nodig. In par. 7.2 is gewezen op een aantal lacunes. Met het algemene onderzoek, dat tot doel heeft om een theoretisch 'bouwwerk' te leveren waarbinnen de vragen over de waarnemingsprioriteiten en de visuele selectie geplaatst kunnen worden, is reeds een begin gemaakt (Theeuwes, 1992). Nader onderzoek is nodig om deze kennis te kunnen toepassen voor de beoordeling en/of uitwerking van bepaalde verkeersveiligheidsmaatregelen.

#### *B. Doel van het onderzoek*

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen in meer inzicht in de waarnemingstaak, met het doel om een antwoord te vinden op de concrete vraag: "wat moet worden gezien?" Het antwoord is van direct belang voor de praktische uitvoering van de (openbare) straatverlichting. Immers, men kan alleen een adequate verlichting ontwerpen wanneer men precies weet welke voorwerpen verlicht moeten worden opdat ze (goed en tijdig) zichtbaar kunnen zijn.

#### *C. Opzet van het onderzoek*

Het onderzoek, waarvoor hier een voorstel voor de opzet wordt gegeven, is gebaseerd op de gedachte dat de visuele taak afgeleid kan worden uit de rijtaak. De visuele taak bestaat uit het steeds extrapoleren van de sequenties op basis van het voortschrijdend waarnemen van de gebeurtenissen in de sequenties. Daarvoor kan het volgende schema worden opgesteld, waarbij wordt aangenomen dat de visuele informatie met een vaste frequentie (voor het voorbeeld kiezen we eens per seconde) wordt 'ge-updated'.

sequentie 1	++++	++++	++++	++++	****	****	****					
sequentie 2	----	++++	++++	++++	++++	****	****	****				
sequentie 3	----	----	++++	++++	++++	++++	****	****	****			
sequentie 4	----	----	----	++++	++++	++++	++++	****	****	****		
sequentie 5	----	----	----	----	++++	++++	++++	++++	****	****	****	
sequentie 6	----	----	----	----	----	++++	++++	++++	++++	****	****	****
tijd (sec.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

Voor de eerste sequentie wordt het geprojecteerde verloop van de gebeurtenissen gedurende de seconden 5, 6 en 7 afgeleid uit hetgeen is waargenomen in de seconden 1 t/m 4; voor de tweede sequentie wordt het geprojecteerde verloop van de gebeurtenissen gedurende de seconden 6, 7 en 8 afgeleid uit hetgeen is waargenomen in de seconden 2 t/m 5, enzovoorts.

Het hier voorgestelde onderzoek is gebaseerd op de principiële aanname dat er een vaste relatie bestaat tussen visuele prestatie en verkeersprestatie, in die zin dat bij de mindere visuele informatie (die hoort bij een gedegradeerd beeld) meer fouten worden gemaakt. De opzet is gebaseerd op: "Wat gebeurde er toen?". Daarvoor kan het volgende schema worden gebruikt: uit een in het werkelijke verkeer (of eventueel op een simulator) uitgevoerde rit worden steeds de gebeurtenissen in het 'verleden' geregistreerd, en aan een proefpersoon (waarnemer) gepresenteerd. De presentatie stopt op het moment 'nu'; de proefpersoon heeft tot taak middels de normale besturingsorganen van een auto (stuur, gas, rem) aan te geven wat naar zijn/haar mening de juiste manoeuvre is.

Om met deze methode de visueel kritische elementen op het spoor te komen, zijn ter presentatie situaties nodig waarbij verschillende manoeuvres opportuun zijn. Daarbij moeten de situaties zo worden geselecteerd dat zowel *stuurmanoeuvres* als *ontwijkmanoeuvres* gevraagd (kunnen) worden. Waar het om stuurmanoeuvres gaat, moet het verschil tussen een 'foute' manoeuvre en een 'goede' manoeuvre leiden tot een niet-optimale rit (niet-optimaal in snelheid, lengte van de route of rijcomfort). Wat betreft de ontwijkmanoeuvre moet de keuze van een 'foute' manoeuvre leiden tot een conflicten of tot een botsing, maar een (de) 'goede' manoeuvre juist tot het vermijden ervan. Waarschijnlijk is het wenselijk om, ten einde de proef natuurgetrouw te maken, deze twee soorten van situaties te mengen.

De grenswaarde van 'niet-kritisch' naar 'kritisch' wat betreft de visuele elementen kan als volgt worden bepaald. De situaties uit het verkeer (of uit de simulator) worden op video vastgelegd. Door de bekende technieken toe te passen (bijvoorbeeld pixels tot groepen te combineren) kan het beeld op een bekende en herhaalbare wijze worden gedegradeerd; onder de aanname dat bij de mindere visuele informatie die hoort bij een gedegradeerd beeld meer fouten worden gemaakt, kan bij een vooraf gedefinieerde graad van acceptatie, de grens 'kritisch - niet kritisch' worden vastgesteld. Door de verlichting te variëren, kan een directe relatie worden vastgesteld tussen de visuele prestatie en de kwaliteitskenmerken van de verlichting. Een alternatieve benadering ten opzichte van deze specifieke filtering is de degradatie van de visuele informatie te bereiken door minder visueel kritische elementen aan te bieden (bijv. door delen van de wegmarkering weg

te laten). Dit leidt tot een situatie die meer op het werkelijke verkeer lijkt. Een strikte kwantificering is echter moeilijker te realiseren.

We zullen hier niet ingaan op de uitvoering van de experimenten. Uit de beschrijving van de opzet kan worden afgeleid dat voor de experimenten alleen bestaande en alom beschikbare methoden en technieken nodig zijn.

### 7.3. Onderwerpen voor nader onderzoek: Technische aspecten

#### 7.3.1. Verlichtingskundige aspecten

Verder is een aantal aspecten die onder de verzamelterm 'verlichtingskunde' vallen van belang. Het gaat daarbij om onderwerpen van praktische betekenis. De behandeling van deze onderwerpen is van belang om een aantal vragen en problemen in de praktische uitvoering van verlichtingsinstallaties te kunnen aanpakken. Het gaat om de volgende de onderwerpen:

- kwaliteitscriteria (E of L of  $E_{\text{semicyl}}$  enz.)
- samenhang tussen de kwaliteitscriteria
- meestralende verlichting - tegenstraling - symmetrische verlichting
- reflectiefactoren van kleding enz.
- bovenste afsnijhoek voorruit
- relatie en interactie met autolichten
- lichtvervuiling.

De onderwerpen kunnen worden bestudeerd volgens de bekende methoden van lichttechnisch onderzoek, en sommigen kunnen worden ingepast in lopende of op te starten projecten.

Ook hier weer geldt dat uit de bespreking van de stand van zaken in de Hoofdstukken 2 t/m 5 van dit rapport blijkt dat het gaat om 'wensen' betreffende aanvullende kennis. Het huidige werk aan het ontwerp en beheer van openbare verlichting wordt niet onnodig moeilijk (of zelfs onmogelijk) gemaakt zo lang die kennis niet beschikbaar is. Aan deze onderwerpen is dan ook niet de hoogste prioriteit toegekend. Dit in tegenstelling tot de twee onderwerpen die hierna worden besproken: berekenen en meten, en ongevallenstudies.

#### 7.3.2. Berekenen en meten

Het meten en het berekenen van lichttechnische grootheden is een probleemgebied op zich. De reden is dat lichttechnische metingen over het algemeen heel moeilijk zijn om uit te voeren, en zeker om het met een redelijke mate van nauwkeurigheid te doen. In de praktijk betekent dit dat men bij het lichttechnische ontwerp van installaties onnauwkeurigheden op de koop moet nemen die in andere takken van de 'ingenieurskunde' niet geaccepteerd zouden worden. Omdat metingen de inputgrootheden voor de berekeningen zijn, heeft dit uiteraard ook repercussies voor de lichttechnische berekeningen.

Bij de berekeningen moet nog worden opgemerkt dat de meest voorkomende ervan - de berekening van de wegdekkluminantie en van de verdeling ervan - gebaseerd is op een algoritme dat in de zestiger jaren onder de auspiciën van de CIE is ontwikkeld. Dit wil



zeggen dat het ontstaan is in een tijdsbestek dat computers zowel wat hardware als wat betreft software nog in de prille kinderschoenen stonden. De programma's zijn in de loop van de jaren tot zekere hoogte aangepast, en ook is gepoogd ze geschikt te maken voor PC's. Het is echter steeds 'lapwerk' gebleven; het moment lijkt aangebroken om de lichttechnische berekeningen op een nieuwe leest te schoeien, gebruik makend van moderne technieken uit de software, en ze toepasbaar te maken voor moderne PC's. Daarbij dient men zich niet tot de luminanties te beperken, maar andere ontwerp- en beheersaspecten integraal in het programma op te nemen.

Wat betreft de metingen dient het volgende te worden opgemerkt. In de afgelopen periode is een tamelijk compleet systeem voor het ontwerp van openbare verlichting opgesteld. Hierbij heeft de CIE een belangrijke rol gespeeld (zie CIE, 1965, 1976, 1977, 1984, 1993). De grondgedachte is dat aan de hand van gegevens van de lampen en armaturen, van de geometrie van de installatie, en van de reflectie-eigenschappen van wegdekken de luminantie en haar verdeling, alsmede de verblinding kan worden bepaald, bijvoorbeeld met het hierboven genoemde berekeningsprogramma. De installatie kan aan de hand daarvan worden uitgevoerd. Zoals in par. 3.5 is beschreven, zijn er echter twee belangrijke lacunes in dit systeem:

- het is momenteel niet mogelijk om de reflectie-eigenschappen van wegdekken op een adequate wijze *in situ* te meten;
- het is momenteel niet mogelijk om de resulterende, door de installatie geleverde, luminantie en verblinding op een adequate wijze te meten.

In de volgende paragraaf wordt een schets gegeven van een project waarmee deze twee lacunes kunnen worden opgevuld. In beide gevallen zijn de beginselen van meting reeds uitgezocht; een verdere praktische uitwerking moet nog worden uitgevoerd.

### 7.3.3. *De meting van de reflectie-eigenschappen en van de luminantie*

#### 7.3.3.1. Inleiding

De reflectie-eigenschappen van wegdekken spelen een belangrijke rol bij het optimaliseren van de installaties voor openbare verlichting (wegverlichting), zowel wat betreft het energiegebruik als wat betreft de kosten. Momenteel worden installaties voor openbare verlichting ontworpen onder gebruikmaking van geschatte waarden van de reflectie van het wegdek.

In par. 3.5.4 is beschreven wat het belang van de wegdekluminantie is, en welke de rol is van het wegdek om een bepaalde luminantie te bereiken. Ook is aangegeven welke lacunes nog bestaan om de luminantietechniek in haar volledigheid te kunnen toepassen. Het gaat daarbij om drie dingen:

- de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken;
- de meting van de luminantie;
- het berekenen van de luminantie.

Hier wordt een aanzet gegeven voor een onderzoek naar de eerste twee: de meting van de reflectie-eigenschappen en van de luminantie. Op de verbetering van de berekening gaan we in dit rapport niet verder in.

### 7.3.3.2. De meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken

#### A. *Stand van zaken*

In par. 3.4.8 is beschreven op welke wijze de reflectie-eigenschappen van wegdekken kunnen worden bepaald en weergegeven (in R-tabellen). Ook is aangegeven op welke wijze de wegdekken wat betreft hun reflectie-eigenschappen kunnen worden geïdentificeerd en geclassificeerd, en hoe bij een meting de reflectie kan worden benaderd door in slechts drie richtingen te meten. Ook is een aantal beginselen aangegeven volgens welke een meetuitrusting voor in-situ-metingen op de weg kan worden geconstrueerd.

Momenteel bestaat een eerste prototype dat volgens deze beginselen is gemaakt. De eerste metingen daarmee zijn uitgevoerd; de resultaten zijn veelbelovend. De meting kan op eenvoudige en voldoende nauwkeurige wijze worden uitgevoerd. Wanneer een stapvoetse snelheid wordt aangehouden, zijn de metingen snel (in enige minuten per weg) uit te voeren. De invloed van het daglicht, de stabiliteit en de demping leveren geen problemen op, terwijl de resultaten suggereren dat er inderdaad van aanzienlijke besparingen sprake kan zijn.

De meting heeft in eerste instantie het karakter gehad van een 'pilot' ten dienste van het verkrijgen van gegevens over de technische uitvoerbaarheid van het systeem, alsmede over de economische haalbaarheid ervan.

#### B. *Doel van de metingen*

De resultaten van de metingen die met een dergelijk apparaat te verkrijgen zijn, kunnen voor een aantal doelen worden gebruikt. In het vervolgtraject moeten hierbinnen prioriteiten worden gesteld. De eerste stap was het maken van het reeds vermelde 'eerste' prototype.

- Het energetische optimalisering van openbare verlichting. Momenteel wordt voor het berekenen van de luminantie voor verlichtingsinstallaties vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van benaderde (geschatte) waarden van de reflectie-eigenschappen. De onzekerheid in de gegevens leidt tot een onzekerheid in het resultaat; gewoonlijk past men bij het ontwerp een extra marge toe. Dit betekent dat een aanzienlijk deel van de huidige verlichting een hoger lichtniveau heeft dan in overeenstemming is met de NSvV-Aanbevelingen. Wanneer de reflectie-eigenschappen beter bekend zijn, en ook per wegvak bekend zijn, is te verwachten dat het ontwerp van de verlichtingsinstallatie nauwkeuriger uitgevoerd kan worden.
- Classificatie van wegdekken. Ook met het systeem zoals hier is beschreven, is het nodig om van iedere weg de reflectie-eigenschappen te kennen. Dit betekent de weg enige tijd in gebruik zijn, voordat de metingen kunnen worden uitgevoerd. Het is te verkiezen om de reflectie-eigenschappen te kennen in het ontwerpstadium van de weg en van de verlichting. Daarvoor is een classificatie van wegdekken nodig. Hiervoor is een uitgebreid systematisch onderzoek nodig. De eerste stap daarbij is het verkrijgen van een classificatie van aggregaten; deze classificatie is ook om andere redenen van belang, en daarom wordt die apart behandeld (zie ook het punt hierna).

- **Classificatie van steenslag.** Momenteel wordt in Nederland voor wegdekken (zowel van cementbeton als van asfalt) vrijwel uitsluitend de zgn. Nederlandse steenslag gebruikt. Dit is steenslag die afkomstig is van riviergrind dat in Limburg wordt gewonnen. Uit overwegingen van milieubeheer en van ruimtelijke ordening ontstaat steeds meer verzet tegen het op grote schaal ontginnen van het Limburgse grind; men zoekt naar alternatieven. Omdat de kostprijs op het werk van steenslag voor een groot deel wordt bepaald door de transportkosten en dus door de afstand waarover het steenslag moet worden gehaald, kan, wanneer de Nederlandse steenslag niet - of veel minder - kan worden gebruikt, naar een optimaal aggregaat kan worden gezocht. Speciale aandacht wordt gevestigd op het toepassen van (natuurlijke of kunstmatig bereide) lichtgekleurde wegdekken.
- **Reflectie-eigenschappen van wegmarkeringen.** Er is veel onderzoek gedaan naar de eisen die aan de waarneembaarheid van wegmarkeringen moeten worden gesteld. Overdag zijn deze eisen meestal niet kritisch, en evenmin bij openbare verlichting. De meting van deze reflectiefactor is echter geen eenvoudige zaak. In de praktijk blijkt dat vooral de geometrie tot problemen aanleiding kan geven. De waarnemingshoek is - net als bij wegdekken - slechts één graad met de horizontaal. Maar anders dan bij de wegdekken is de lichtinvalsrichting nog vlakker; immers, koplampen zitten dicht bij de weg dan het oog van de waarnemer. Aangezien deze vlakke hoeken tot problemen bij het uitrichten kunnen leiden, heeft men gewoonlijk de waarnemingshoek op 5° gesteld, en de invalshoek op 3°. Daarbij gaat men echter voorbij aan het feit dat de waarneembaarheid bij deze vrij grote hoeken geheel anders kan zijn dan bij de hoeken die voor het verkeer relevant zijn. Het wordt als een belangrijke gemis gevoeld dat wegmarkeringen niet gemeten kunnen worden onder deze relevante hoeken; daarbij komt dat de waarneembaarheid van de markering vooral afhangt van het *contrast* tussen markering en wegdek, zodat beiden onder dezelfde geometrie moeten worden gemeten. Het is van belang dat met de in ontwikkeling zijnde meetmethode ook wegmarkeringen gemeten kunnen worden.

#### 7.3.3.3. De meting van de luminantie

In par. 3.5.3.2 is aangegeven dat het in beginsel niet zo moeilijk is om luminanties te meten. Problemen ontstaan pas bij het meten van de luminantie van zeer kleine voorwerpen of van oppervlakken die slechts zeer zwak licht uitstralen. In de wegverlichting wordt men vaak met deze problemen geconfronteerd. We hebben in par. 3.5.3 reeds aangegeven dat deze problemen momenteel zo groot zijn dat metingen in de praktijk eigenlijk niet mogelijk zijn. We hebben bovendien aangegeven dat deze lacune om een aantal redenen onwenselijk is.

In par. 3.5.3.2 hebben we bovendien aangegeven op welke wijze de meting van de luminantie op de weg in beginsel goed uitvoerbaar is. Daarbij wordt gebruik gemaakt van CCD's (Charge Coupled Devices). Met een CCD kan men heel goed de relevante fotostromen opvangen; met de beschikbare software voor beeldverwerking is het goed mogelijk om uit de relevante fotostromen de luminanties of luminantiepatronen af te leiden. In Nederland zijn een aantal veelbelovende, voorbereidende onderzoeken uitgevoerd. Verder ontwikkelingswerk is echter nog nodig om uit dit beginsel een voor de praktijk bruikbare, goedkope en betrouwbare meetmethode af te leiden.

## 7.4. Onderwerpen voor nader onderzoek; Ongevallenstudies

### 7.4.1. Fasering van het onderzoek

Zoals reeds enige malen is aangegeven, is een van de belangrijke functies van openbare verlichting het waarborgen en verbeteren van de verkeersveiligheid, ook bij duisternis. In Hoofdstuk 4 hebben we aangegeven welk onderzoek reeds is uitgevoerd op dit terrein, zowel in Nederland alsook daarbuiten.

Het recente Nederlandse onderzoek betreft in hoofdzaak het bepalen van de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de (frequentie en ernst) van verkeersongevallen. Hiervoor is door de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat, de SWOV en Bureau Goudappel Coffeng een programma opgesteld. Om praktische redenen is dit programma in drie fasen is onderverdeeld.

Fase I: De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

Fase II: De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

Fase III: De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op wegen binnen de bebouwde kom.

Fase I is afgesloten (BGC, 1990; Schreuder, 1990a). Fase II is momenteel in uitvoering, terwijl Fase III nog niet is aangevangen. Wel is intussen als een uitvloeisel van een opdracht van het Ministerie van Economische Zaken aan de SWOV onderzoek uitgevoerd betreffende de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting enerzijds en de verkeersveiligheid en de criminaliteit anderzijds. Bij de uitvoering is de liaison tussen dit project en het DVK-project met zorg bewaard, maar het is wenselijk dat deze twee projecten worden geïntegreerd. In de onderstaande paragraaf is een raamwerk gegeven voor een dergelijke integratie.

### 7.4.2. Opzet van het onderzoek

Het ligt voor de hand Fase III van het onderzoek op analoge wijze uit te voeren als het onderzoek van de Fasen I en II; dat wil zeggen als relatie-onderzoek. Het is noodzakelijk om een goede aansluiting te vinden bij het door de SWOV reeds uitgevoerde onderzoek op dit gebied; dat onderzoek is het vervolg op een onderzoek dat is opgedragen door het Ministerie van Economische Zaken.

Het onderzoek wordt uitgevoerd als een ongevallenstudie, of meer specifiek, als een zgn. relatie-onderzoek. Daarbij worden de aard (eventueel de ernst) van ongevallen vergeleken met andere kenmerken van de verlichting. Het onderzoek is gebaseerd op de bekende hypothese dat bij een toenemend lichtniveau het risico voor ongevallen afneemt.

Het 'relatie-onderzoek' gaat om het bepalen van de relaties tussen groepen van gegevens betreffende de volgende aspecten:

- ongevallenkenmerken
- verlichtingskenmerken
- wegkenmerken
- verkeerskenmerken
- (criminaliteitskenmerken).

Het belangrijkste oogmerk van de opzet is het verkrijgen van een grote 'steekproef' aan ongevallen. Het onderzoek kan daartoe worden uitgevoerd in betrekkelijk kleine geografisch en organisatorisch af te grenzen 'gebieden'.

Er is een duidelijk verschil aan te wijzen tussen de onderzoeken van de Fasen I en II, en het onderzoek van Fase III, en wel dat de eerste twee op wegen buiten de bebouwde kom betrekking hebben. Het verschil is drieledig:

Ten eerste vormen de wegen buiten de bebouwde kom een groep die veel minder heterogeen is dan de wegen binnen de bebouwde kom.

Ten tweede worden buiten de bebouwde kom alleen wegen met een duidelijke (of uitsluitende) verkeersfunctie van openbare verlichting voorzien, terwijl het grootste deel (wat weglengte betreft) van de wegen binnen de bebouwde kom wegen zijn met een verblijfsfunctie (woonstraten).

Ten derde is het 'aanbod' van verlichte wegen binnen de bebouwde kom veel groter dan van wegen buiten de bebouwde kom, zodat het probleem van een te kleine steekproef binnen Nederland niet aan de orde komt.

De gegevens over de ongevallen, de verlichting, de weg en het verkeer (en eventueel de criminaliteit) dienen voor alle wegen en straten die bij het onderzoek betrokken waren, apart te worden verzameld. Verder kan het onderzoek de lijnen van de eerdere onderzoeken volgen.

#### 7.5. Conclusies uit Hoofdstuk 7

- Onderzoek van algemene aard is nodig op de volgende gebieden:
  - prognoses over de economische ontwikkelingen van Nederland maar ook van Europa en van de wereld;
  - prognoses over verkeer en vervoer;
  - prognoses over het wegennet;
  - prognoses over voertuiggebruik, verdeling over voertuigen en verdeling over het etmaal;
  - prognoses over de onveiligheid van het verkeer;
  - prognoses over de ontwikkeling van het verkeersbeleid en het verkeersveiligheidsbeleid;
  - prognoses over de ontwikkelingen in het maatschappelijk bestel;
  
- Onderzoek naar fundamentele aspecten betreffende de rijtaak wordt nodig geacht op een aantal terreinen die een nauwe relatie hebben met de verlichting, zonder er direct mee verbonden te zijn:
  - waarneembaarheid van objecten:
    - . de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz.);
    - . het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
    - . de adaptatietoestand;
  - beslissingspsychologie;
  - de rijtaak (Taak I en Taak II);
  - operationaliseren van het begrip 'rijcomfort'.
  
- Onderzoek naar fundamentele aspecten betreffende de visuele taak is nodig voor een goed verlichtingsontwerp en voor een goed verlichtingsbeheer. Het gaat om de vraag: 'wat moet worden gezien, de visueel relevante elementen of de visueel kritische elementen?'

● Nader onderzoek aangaande enige technische aspecten is nodig. De hoogste prioriteit wordt toegekend aan de volgende onderwerpen:

1. Nadere uitwerking van een nieuw systeem voor lichttechnische berekeningen toe te passen op moderne PC's, gebruik makend van moderne technieken uit de software. Daarbij dient men zich niet tot de berekening van luminanties te beperken, maar ook andere ontwerp- en beheersaspecten dienen integraal in het programma opgenomen te worden.

2. Uitwerking van nieuwe methoden van meting:

- de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken *in situ*;
- de meting van de door installaties geleverde luminantie en verblinding.

● Uitbreiding van de ongevallenstudies is nodig, meer in het bijzonder wat betreft fase III (de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op wegen binnen de bebouwde kom). Het onderzoek dat is aangevangen in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken dient te worden geïntegreerd met het DVK-project.

● Op een aantal technische punten in nader onderzoek gewenst, zonder de hoogste prioriteit te hebben:

- kwaliteitscriteria (E of L of  $E_{\text{semicyl}}$  enz.)
- samenhang tussen de kwaliteitscriteria
- meestralende verlichting - tegenstraling - symmetrische verlichting
- reflectiefactoren van kleding enz.
- bovenste afsnijhoek voorruit
- relatie en interactie met autolichten
- lichtvervuiling.

## LITERATUUR

- \* Adrian, W. (1969). Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Bewertung. *Lichttechnik* 21(1969)2A-7A.
- \* Adrian, W. (1978). Bericht über die Messung des Schöneegg-Tunnels von 17.2.78. (Niet gepubliceerd; Bijlage bij Riemenschneider, 1978).
- \* Adrian, W. (1989). Visibility of targets: Model for calculation. *Lighting Res. & Technol.* 21(1989)181-188.
- \* Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1968). The assessment of glare in street lighting. *Light & Lighting* 61(1968) 360-361.
- \* Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1970). A simple method for the appraisal of glare in street lighting. *Lighting Res. & Technol.* 2(1970) 61-73.
- \* Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1972). A modification of the method for the appraisal of glare in street lighting. In: CIE, 1972.
- \* Anon. (1963). Research on road safety. HMSO, London, 1963.
- \* Anon. (1969). Fourth annual NASA-University Conference on Manual control, University of Michigan, Ann Arbor, March 21-23, 1968. NASA SP-192. NASA, Washington, DC., 1969.
- \* Anon. (1974). Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid. Pre-adviezen congresdag 6 december 1974. Het Nederlandse Wegcongres, Den Haag, 1974.
- \* Anon. (1974a). Das Prinzip der Gegenstrahlbeleuchtung für Strassentunnels. *Alumagazin*, Zürich, April 1974.
- \* Anon. (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW-Mededeling 52 / SVT-Mededeling 17. SCW, Arnhem, 1982.
- \* Anon. (1983). Fietspadverlichting: Een studie van de Commissie voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. *Elektrotechniek* 61(1983)-233-245.
- \* Anon. (1985). Verlichting der autosnelwegen; Invloed der besparingsmaatregelen op de ongevallen. Ministerie van Openbare Werken, Brussel, 1985.
- \* Anon. (1986). Le marquage routier en France. ISTED, Bagneux, 1986.
- \* Anon. (1986a). L'amélioration de la visibilité de nuit des marquages routiers par les traitements de surface des microbilles de verre. In: Anon (1986).
- \* Anon. (1985). Swedish National Code of Practice for Road Lighting. Highway Administration, Stockholm, 1985.
- \* Anon. (1987). (Rapportage van een plan voor de nieuwe ingang voor de Schipholtunnel; geen titel, geen auteur. Verslag van een voorstel gemaakt door de Universiteit van Nijmegen). 1987 (Jaartal geschat).
- \* Anon. (1991). Controlled road lighting. Proposal submitted to the Commission of the European Communities, Promotion of Energy Technologies for Europe (THERMIE). Rijkswaterstaat, Rotterdam, June 1991 (Niet gepubliceerd).
- \* Armour, M.; Carter, R.E.; Cinquegrana, C.; Griffith, J.R. (1989). Study of single vehicle rural accidents, Volume 1: Accident data report. GR/89/4. Road Traffic Authority, 1989.
- \* Asmussen, E. (1972). Transportation research in general and travellers decision making in particular as a tool for transportation management. In: OECD (1972a).
- \* BGC (1987). Onderzoek relatie lichtniveau - aantal ongevallen. Bureau Goudappel Cof-feng, Deventer, 1987. (Bijlage 1 in Schreuder, 1990c).

- \* BGC (1990). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Effecten en niveaus. RWE/917/09/Mn. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990.
- \* BGC (1990a). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Data. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990 (Niet gepubliceerd).
- \* Blaauw, G.J. (1983). Requirements for markings and raised pavement markers. In: CIE (1983).
- \* Blaauw, G.J. & Padmos, P. (1981). De zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegen. IZF 1981 C-20. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- \* Blaauw, G.J. & Riemersma, J.B.J. (1975). Interpretation of roadway designs by an analysis of driver's visual scanning and driving behavior on straight and curved roadway sections. Report C-5. IZF-TNO, Soesterberg, 1975.
- \* Blaser, P. (1990). Counterbeam lighting; A proven alternative for the lighting of the entrance zones of road tunnels. Transp. Res. Record 1287, pp. 244-251.
- \* Blaser, P. & Dudli, H. (1982). Die Sichtverhältnisse in der Einfahrzone von Strassentunneln mit Gegenstrahlbeleuchtung. In: SLG (1982).
- \* Boer, J.B. de (1951). Fundamental experiments of visibility and admissible glare in road lighting. CIE, Stockholm, 1951.
- \* Boer, J.B. de & Knudsen, B. (1963). The pattern of road luminance in public lighting. CIE, Vienna, 1963.
- \* Boer, J.B. de (ed). (1967). Public lighting. Eindhoven, Centrex, 1967.
- \* Bovy, P.H.L. (1991). Mobiliteit in cijfers, modellen en scenario's. In: PAOVV (1991).
- \* Broadbent, D.E. (1958). Perception and communication. Pergamon Press, London, 1958.
- \* Buijn, H.R.; Van den Brink, T.D.J. & Schreuder, D.A. (1991). Road lighting for road safety, public security and amenity. In: CIE (1991).
- \* Burg, A. (1964). An investigation of some relationships between dynamic visual acuity, static visual acuity and driving record. Report No. 64-18. Univ. of California, Los Angeles, 1964.
- \* Burg, A. (1968). Vision and driving; A summary of research findings. Ann. Meeting Highway Research Board, 1968.
- \* Burghout, F. (1977). Kenngrößen der Reflexionseigenschaften von trockner Fahrbahndecken. Lichttechnik 29(1977)23.
- \* Burghout, F. (1977a). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: LITG (1977).
- \* CBS (1992). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1991. SDU-Uitgeverij, Den Haag, 1992.
- \* Cavallo, V. et al. (1988). Perception and anticipation in negotiating curves: the role of driving experience. In: Anon. (1988c).
- \* CIE (1965). International recommendations for the lighting of public thoroughfares. Publication No. 12. CIE, Paris, 1965.
- \* CIE (1972). Comte rendue dixseptieme session de la Commission Internationale de l'Eclairage CIE. Publication CE No. 21A. CIE, Paris, 1972.
- \* CIE (1976). Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting. Publication No. 30. CIE, Paris, 1976.
- \* CIE (1977). Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. CIE, Paris, 1977.
- \* CIE (1980). Proceedings 19th Session of CIE, Kyoto, Japan, 1979. Publication No. 50. CIE, Paris, 1980.



- \* CIE (1981). Guide on the emergency lighting of building interiors. Publication No. 49. CIE, Paris, 1981.
- \* CIE (1983). International symposium Visual aspects of road markings, Paris, 2-3 May, 1983. Reports and papers. CIE, Paris, 1983.
- \* CIE (1984). Tunnel entrance lighting. Publication No. 61. CIE, Paris, 1984.
- \* CIE (1984a). Road surfaces and lighting. Joint Report from CIE and PIARC. Publication No. 66. CIE, Paris, 1984.
- \* CIE (1987). Guide to the properties and uses of retroreflectors at night. Publication No. 72. CIE, Vienna, 1987.
- \* CIE, (1988). Visual aspects of road markings. Publication No. 73. CIE, Vienna, 1988.
- \* CIE (1990). Guide for the lighting of road tunnels and underpasses (Draft March 1990). Publication No. 26/2. CIE, Vienna, 1990.
- \* CIE (1991). Proceedings 22nd Session Melbourne 1991. Australian National Committee on Illumination, Melbourne, 1991.
- \* CIE (1992). Vergadering van CIE Divisie 4, Praag, September 1992 (Niet gepubliceerd).
- \* CIE (1993). Road lighting as an accident counter-measure. Publication No. 8/2. CIE, Vienna, 1993 (In press).
- \* Cohen, A. (1985). Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie 44(1985)249-288.
- \* Cohen, A.S. & Zwahlen, H.T. (1989). Blicktechnik in Kurven. Wissenschaftliches Gutachten. BFU-Report 13. BFU/BPA/UIP, Bern, 1989.
- \* Cornwell, P.R. (1973). Appraisals of traffic route lighting installations. Lighting Res. & Technol. 5(1973)10-16.
- \* CROW (1987). Zicht op wegmarkeringen. Publikatie No. 2. CROW, Ede, 1987.
- \* CROW (1991). Cursus openbare verlichting. CROW, Ede, 1991.
- \* Dunbar, C. (1938). Necessary values of brightness contrast in artificially lighted streets. Trans. Illum. Engng. Soc. (London) 3(1938)21.
- \* Dutruit, M. (1974). Die Retro-Reflexion. Regionale Strassen Konferenz. IRF, Budapest, 1974.
- \* Ebell, R.J.E.V.; Groot, R.E.; Schreuder, D.A. & Theewis, S.R. (1984). Probleemanalyse visuele waarneembaarheid van kruisende fietsers en bromfietzers bij duisternis in relatie tot een RVLV-maartregel. IWACC 1984-1 (Twee delen). IWACC, Oudendijk, 1984.
- \* Erbay (1974). Atlas voor de reflectie-eigenschappen van wegdekken. Berlijn, 1974 (Niet gepubliceerd).
- \* Fisher, A. (1973). A review of street lighting in relation to safety. Dept. of Transport NR/18. Governmental Publishing Service, Canberra, 1973.
- \* Flury, F.C. (1977). Economische schade door verkeersongevallen 1970 t/m 1976; Aanvulling op tabel 31 in Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland. R-77-23. SWOV, Voorburg, 1977.
- \* Flury, F.C. (1984). Economische schade ten gevolge van verkeersonveiligheid. R-84-10. SWOV, Leidschendam, 1984.
- \* Flury, F.C (1989). Gedifferentieerde kosten van ongevallen. R-89-44. SWOV, Leidschendam, 1989.
- \* Flury, F.C. (1990). De ontwikkeling van de verkeersveiligheid tot en met 1988 en het beleid uit het Meerjarenplan Verkeersveiligheid 1987-1991. R-90-28. SWOV, Leidschendam, 1990.

- \* Flury, F.C. (1992). De kosten van de verkeersonveiligheid; Een interimrapport. SWOV, Leidschendam, 1992. (Niet gepubliceerd).
- \* Gallagher, V.P.; Koth, B.W. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.
- \* Graham, C.H. (ed.) (1965). Vision and visual perception. Wiley, New York, 1965.
- \* Gregory, R.L. (1970). The intelligent eye. Weidenfeld & Nicholson, London, 1970.
- \* Griep, D.J. (1968). Traffic accidents, visual performance and driving behaviour. In: Henkes (ed.) (1968).
- \* Griep, D.J. (1971). Analyse van de rijtaak. Verkeerstechiek 22(1971)303-306; 370-378; 423-427; 539-542.
- \* Guldemon, L. (1992). Beheersplannen verlichting. In: PAOVV (1992a).
- \* Guldemon, L. (1992a). Onderhoud; tarieven. In: PAOVV (1992a).
- \* Hagenzieker, M.P. (1989). Visuele selectie in het verkeer; Een interimrapport. R-89-60. SWOV, Leidschendam, 1989.
- \* Hagenzieker, M.P. (1990). Time courses in visual information processing: The influence of luminance on localisation and identification performance. Paper presented at the Second International Conference on Visual Search, September 3-6, 1990. University of Durham, Durham, 1990.
- \* Hagenzieker, M.P. (1991). Visuele selectie in het verkeer; Tweede interimrapport. R-91-78. SWOV, Leidschendam, 1991.
- \* Hagenzieker, M.P. (1991a). Visual perception and vehicle lighting during daytime: A conceptual model. In: CIE (1991).
- \* Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990). Time courses in visual-information processing: Some theoretical considerations. Psychological Research 52(1990) 5-12.
- \* Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990a). Time courses in visual-information processing: Some empirical evidence for inhibition. Psychological Research 52 (1990) 13-21.
- \* Hautala, P.V. & Simons, R.H. (1991). Luminance criteria and visibility measures for road lighting design. Workshop. In: CIE (1991).
- \* IES (1988). Annual Conference of The Illuminating Engineering Society of North America, August 7-11, 1988. Minneapolis, Mn., 1988.
- \* Janssen, S.T.M.C. (1974). Verkeersveiligheid als criterium voor het wegontwerp. In: Anon (1974).
- \* Janssen, S.T.M.C. (1979). Categorisering van wegen buiten de bebouwde kom. R-79-43. SWOV, Voorburg, 1979.
- \* Janssen, S.T.M.C. (1988). De verkeersveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010. R-88-3. Leidschendam, SWOV, 1988.
- \* Janssen, S.T.M.C. & Schreuder, D.A. (1974). Karakteristieken van het wegverkeer. In: Anon (1974).
- \* Janssen, W.H. (1984). De detectie van een mogelijke botsing bij gebogen nadering van een kruispunt. IZF 1984-C3. IZF-TNO, Soesterberg, 1984.
- \* Janssen, W.H. (1986). Modellen van de rijtaak; De 'state-of-the-art in 1986'. IZF 1986 C-7. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- \* Janssen, W.H. & Van der Horst, A.R.A. (1980). The perception of impending collision in night-time driving. IZF 1980 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- \* Keitz, H.A.E. (1967). Lichtberechnungen und Lichtmessungen. Philips Tech. Bibl., Eindhoven, 1967.
- \* KNMI (1992). Jaaroverzicht van het weer in Nederland 89, 13. KNMI De Bilt, 1992.
- \* Knudsen, B. (1967). Lamps and lanterns. Chapter 6 in: De Boer (ed.) (1967).

- \* Knudsen, B. (1968). De morke punkter in vejbelysning (Dangerous points in street lighting). *Dansk Vejtidskrift* (1968)8:153-164.
- \* Koornstra, M.J. et al., (eds.) (1992). Naar een duurzaam veilig wegverkeer. SWOV, Leidschendam, 1992.
- \* Krause, D. (1979). Visibilité de nuit des marquages routiers par temps de pluie. PV 79.568. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1979.
- \* Krauze, D. (1984). Etude de la signalisation horizontale; Visibilité de nuit par temps de pluie de marques expérimentaux appliqués en rive sur chaussée circulée. PV 84-194. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1984.
- \* Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1960). A servomechanism approach to skill development. *J. Franklin Institute* 269(1960)1:24-42 (Ref. Krendel & McRuer, 1969).
- \* Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1968). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Proc. 4th Annual Conference on Manual Control, 1968.
- \* Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1969). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Ch. 15 in: Anon (1969).
- \* Le Grand, Y. (1956). *Optique physiologique*, Tome III. Ed. Revue Optique, Paris, 1956.
- \* Levelt, P. (1987). Onderzoek naar bogen; Inventarisatie ten behoeve van boog-onderzoekers. SWOV, Leidschendam, 1987. (Niet gepubliceerd).
- \* Licht84 (1984). Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschland, Niederlande, Oesterreich, Schweiz, Mannheim, 5-7 Juni, 1984.
- \* LITG (1976). Lichttechnische Tagung '76, München, 31/5-3/6 1976.
- \* LITG (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium, Karlsruhe, 5-6 July 1977. LITG, Berlin, 1977.
- \* Maas, C.J. (1986). De relatie tussen straatverlichting en criminaliteit. *Tijdschrift voor de Politie* 48(1986)438-443.
- \* Matanzo, F. & Rockwell, T.P.H. (1967). Driving performance under night time conditions of visual degradation. *Human Factors* 9(1967)427-432.
- \* Meseberg, H.-H. (ed.) (1990). *Fahrbahnmarkierungen '90*. DGSM Heft 9. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1990.
- \* Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J.; De Klerk, L.F.W. (eds.) (1976). *Handboek der psychonomie*. Van Loghum Slaterus, Deventer, 1976.
- \* Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J. & De Klerk, L.F.W. (eds.) (1979). *Handbook of psychonomics* (2 volumes). North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- \* NAASRA (1988). *Guide of traffic engineering practice, Part 12: Roadway lighting*. National Association of State Road Authorities, Sydney, 1988.
- \* Neis, H. (1985). *Zur Problem der Erfassung und Beurteilung von profilierten Fahrbahnmarkierungen im trockenen und nassen Zustand*. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- \* NNI (1971). *Veiligheidsvoorschriften voor laagspanningsinstallaties*. 2e druk, gewijzigd, met correcties. NEN 1010. Nederlands Normalisatie-instituut NNI, Rijswijk, 1971.
- \* Noordzij, P.C.; Hagenzieker, M.P. & Theewes, J. (1993). *Visuele waarneming en verkeersveiligheid, Eerste concept*. SWOV, Leidschendam, 1993 (Niet gepubliceerd).
- \* Norman, D.A. (ed.) (1976). *Memory and attention*. Second edition. John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.
- \* Novellas, F. (1982). *Eclairage des tunnels routiers; Intérêt des systèmes à mobilisation de contraste*. *Rev. Routes Aérodr.*, 1982 (Jaartal geschat).

- \* NSVV (1957). Aanbevelingen voor openbare verlichting. Moormans Periodieke Pers, Den Haag, 1957 (Jaartal geschat).
- \* NSVV (1974/1975). Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting. *Electrotechniek* 52(1974)15; 53(1975) 2 en 5.
- \* NSVV (1977). Het lichtniveau van de openbare verlichting in de bebouwde kom. *Electrotechniek* 55(1977) 90-91.
- \* NSVV (1990). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel I. NSVV, Arnhem, 1990.
- \* NSVV (1990a). Licht90. Tagungsberichte Gemeinschaftstagung, Rotterdam, 21 - 23 Mai, 1990. NSVV, Arnhem, 1990.
- \* NSVV (1993). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel II, Meten en berekenen. NSVV, Arnhem, 1993 (In druk).
- \* OECD (1972). Lighting, visibility and accidents. OECD, Paris, 1972.
- \* OECD (1972a). Symposium on road user perception and decision making. OECD, Rome, 1972.
- \* OECD (1976). Adverse weather, reduced visibility and road safety. OECD, Paris, 1976.
- \* OECD (1990). Behavioural adaptation to changes in the road transport system. OECD, Paris, 1990.
- \* OTA (1970). Tenth International Study Week in Traffic and Safety Engineering. OTA, Rotterdam, 1970.
- \* Padmos, P. (1981). Veiligheids- en comfortaspecten van het autorijden bij duisternis buiten de bebouwde kom, in relatie tot wegverlichting. IZF 1981-C-21. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- \* Padmos, P. (1982). Discussiebijdrage. In: SLG (1982).
- \* Padmos, P. (1984). Visually critical elements in night time driving in relation to public lighting. In: TRB (1984).
- \* Padmos, P. (1988). Visuele problemen op autosnelwegen bij duisternis. IZF 1988 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- \* Padmos, P. (1991). Hartslag als maatstaf voor belasting tijdens het autorijden bij duisternis. IZF 1991 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1991.
- \* Padmos, P. & Walraven, J. (1982). Wegverlichting buiten de bebouwde kom; Welke visuele informatie heeft een automobilist nodig? *Elektrotechniek* 60(1982) 449-451.
- \* PAOVV (1991). Verkeer en milieu: Van woorden naar daden. Cursus, Delft, 16-18 april 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- \* PAOVV (1991a). Cursus Openbare Verlichting. Delft/Eindhoven, 22-24 januari 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- \* Paulmann, G. & Neis, H. (1985). Untersuchungen über die Erhöhung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe durch Verstärkung der Retroreflexion infolge profilierte Markierungen. Forschungsbericht 3.143 G 81 C. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- \* PBNA (1992). Cursus Openbare Verlichting. PBNA, Arnhem, 1992.
- \* Polak, P.H. (1987). De relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid; Methodologische notitie. SWOV, Leidschendam, 1987.
- \* Reeb, O. (1962). Grundlagen der Photometrie. G. Braun, Karlsruhe, 1962.
- \* Riemenschneider, W. (1978). Influence of asymmetric lighting to visibility. Novelectric, Buchs, 9th October 1978 (Niet gepubliceerd).

- \* Riemersma, J.B.J. (1979). The perception of deviation from a straight course. IZF 1979 C-6. IZF-TNO, Soesterberg, 1979.
- \* Riemersma, J.B.J. (1985). Koershouden op de rechte weg. *Verkeerskunde* 36(1985)367-372.
- \* Riemersma, J.B.J. (1988). Zonering en herkenbaarheid; Een experiment. IZF 1988 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- \* Riemersma, J.B.J. (1988a). Enkelbaans/dubbelbaans autowegen; beleving van de weggebruiker. IZF C-4. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- \* Riemersma, J.B.J. (1988b). Waarnemen van boogkenmerken. IZF 1988 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- \* Riemersma, J.B.J. (1989). Waarnemen van weg en omgeving en rijtaak. In: *Handboek Sociale Verkeerskunde*. Van Gorcum, Assen/Maastricht, 1989.
- \* Riemersma, J.B.J. (1989a). The effects of transition curves and superelevation on the perception of road-curve characteristics. IZF 1989 C-18. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- \* Riemersma, J.B.J. (1989b). Vergelijking VSC-snelheidsgegevens en IZF-beoordelingen van bogen. Memo IZF 1989-M25. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- \* Rockwell, T.H.; Ernst, R.L. & Rulon, M.J. (1967). Research on visual requirements in night driving. Final Report EES 254-1. NCHRP. Ohio State University, Columbus, Ohio, 1967.
- \* Schober, H. (1960). *Das Sehen* (2 Bände). Fachbuchverlag, Leipzig, 1958-1960.
- \* Schoon, C.C. & Schreuder, D.A. (1992). Gasontladinglampen voor koplampen van personenauto's in relatie met de verkeersveiligheid. SWOV, Leidschendam, 1992 (In druk).
- \* Schouten, T.M. (1972). Verblindings, enige fysiologische, leeftijdsafhankelijke oorzaken. R-72-9. SWOV, Voorburg, 1972.
- \* Schreuder, D.A. (1964). De luminantietechniek in de straatverlichting. *De Ingenieur* 76(1964)E89-E99.
- \* Schreuder, D.A. (1967). The theoretical basis for road lighting design. Chapter III in : De Boer (ed.) (1967).
- \* Schreuder, D.A. (1970). A functional approach to lighting research. In: OTA (1970).
- \* Schreuder, D.A. (1970a). Road lighting and traffic safety; A functional approach. *Lux* (1970) no 57: 146-147; 256-263.
- \* Schreuder, D.A. (1972). De motivatie tot voertuiggebruik. Internationale Faculteit, Haarlem, 1972.
- \* Schreuder, D.A. (1972a). The coding and transmission of information by means of road lighting. In: SWOV (1972).
- \* Schreuder, D.A. (1972b). Discomfort glare in street lighting. *Lighting Res. Technol.* 4(1972)47-48.
- \* Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting. In: Anon. (1974).
- \* Schreuder, D.A. (1977). The relation between lighting parameters and driving performance. In: LITG (1977).
- \* Schreuder, D.A. (1978). Zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een literatuurstudie. SVT/SCW, Arnhem, 1987.
- \* Schreuder, D.A. (1979). Tunnel lighting engineering; The third generation. Contributed to CIE TC 4.6, SC 3. SWOV, Voorburg, 1979.
- \* Schreuder, D.A. (1979a). The lighting of residential areas. R-79-49. SWOV, Voorburg, 1979. In: CIE (1980).

- \* Schreuder, D.A. (1980). Tunneleinfahrtbeleuchtung: Die dritte Generation. R-80-27. SWOV, Voorburg, 1980. In: LITG, 1980. Zie ook: Schreuder (1981a).
- \* Schreuder, D.A. (1980a). Geprofileerde wegmarkeringen. R-80-51. SWOV, Voorburg, 1980.
- \* Schreuder, D.A. (1981). De verlichting van tunnelingangen; Een probleemanalyse omtrent de verlichting overdag van lange tunnels. R-81-26 I en II. SWOV, Voorburg, 1981.
- \* Schreuder, D.A. (1981a). De verlichting van tunnelingangen: De derde generatie. R-81-21. SWOV, Leidschendam, 1981. Ook: *Wegen* 55(1981)242-245.
- \* Schreuder, D.A. (1983). Glare in road lighting. *CIE Journal* 2(1983)53-57.
- \* Schreuder, D.A. (1983). De relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. R-83-12. SWOV, Leidschendam, 1983.
- \* Schreuder, D.A. (1985). Het effect van vermindering van de openbare verlichting op de verkeersveiligheid. R-85-58. SWOV, Leidschendam, 1985.
- \* Schreuder, D.A. (1985a). Fundamentele overwegingen omtrent visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid. R-85-61. SWOV, Leidschendam, 1985.
- \* Schreuder, D.A. (1985b). Toepassingen en gebruiksmogelijkheden van retroreflecterende materialen in het wegverkeer; Een overzicht van de stand van zaken. R-85-62. SWOV, Leidschendam, 1985.
- \* Schreuder, D.A. (1985c). Regelen, beheersen en sturen... bijvoorbeeld in het wegverkeer. *Wegen* 59(1985) 217-220.
- \* Schreuder, D.A. (1985d). De zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een aanvullende literatuurstudie. R-85-23. SWOV, Leidschendam, 1985.
- \* Schreuder, D.A. (1988). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een aanvullende literatuurstudie. R-88-10. SWOV, Leidschendam, 1988.
- \* Schreuder, D.A. (1988a). Road lighting and priorities for observation. *Illum. Engn. Yougoslavia*, Zagreb, 1988.
- \* Schreuder, D.A. (1988b). Visual aspects of the driving task on lighted roads. *CIE Journal* 7(1988)1:15-20.
- \* Schreuder, D.A. (1988c). Gezichtsvermogen en verkeersveiligheid. R-88-9. SWOV, Leidschendam, 1988.
- \* Schreuder, D.A. (1989). The field factor for the determination of tunnel entrance luminance levels. Paper presented at the SLG/CIE Symposium on: New developments in tunnel lighting Lugano, Switzerland, 12 October 1989.
- \* Schreuder, D.A. (1989a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een voorstudie. R-89-45. SWOV, Leidschendam, 1989.
- \* Schreuder, D.A. (1989b). Enquete wijst uit: Straten zijn onveilig en licht is akelig. *De Gorzette* 17(1989)1:23-25.
- \* Schreuder, D.A. (1989c). Bewoners oordelen over straatverlichting. *PT Elektronica-Elektrotechniek* 44(1989)5:60-64.
- \* Schreuder, D.A. (1990). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingangen. R-90-10. SWOV, Leidschendam, 1990.
- \* Schreuder, D.A. (1990a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. R-90-45. SWOV, Leidschendam, 1990.
- \* Schreuder, D.A. (1991). Visibility aspects of the driving task: Foresight in driving. A theoretical note. R-91-71. SWOV, Leidschendam, 1991.
- \* Schreuder, D.A. (1991a). Motorway lighting under fog conditions. R-91-72. SWOV, Leidschendam, 1991.

- \* Schreuder, D.A. (1991b). Verkeersveiligheid en burgerlijke veiligheid. In: CROW (1991).
- \* Schreuder, D.A. (1991c). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingangen; Verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek. R-91-65. SWOV, Leidschendam, 1991.
- \* Schreuder, D.A. (1991d). Practical determination of tunnel entrance lighting needs. Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington DC, January 15, 1991,
- \* Schreuder, D.A. (1991e). Verkeersveiligheid. In: PAOVV (1991a).
- \* Schreuder, D.A. (1991f). A device to measure road reflection in situ. In: CIE (1991).
- \* Schreuder, D.A. (1992). 30-jarig bestaan van de SWOV. SWOV-schrift no 50, maart 1992, blz. 13-15.
- \* Schreuder, D.A. (1992a). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.
- \* Schreuder, D.A. (1992b). Taak en functie van de openbare verlichting. Les 1 in: PBNA (1992).
- \* Schreuder, D.A. (1992c). De relatie tussen de veiligheid en het niveau van de openbare verlichting. R-92-39. SWOV, Leidschendam, 1992.
- \* Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen; Een state-of-the-art-rapport. R-87-7. SWOV, Leidschendam, 1987.
- \* Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.
- \* SCW (1974). Wegverlichting en oppervlaktetextuur. Mededeling No. 34. SCW, Arnhem, 1974.
- \* SCW (1984). Lichtreflectie van wegdekken. Mededeling 53. SCW, Arnhem, 1984.
- \* Sheridan, T.B. & Ferrell, W.R. (1974). Man-machine systems. The MIT Press, Cambridge, Mass., 1974.
- \* Skene, P. & Turner, H.J. (1976). Studies of road lighting systems: Dural Study. University of New South Wales, 1976 (Niet gepubliceerd).
- \* SLG (1982). Bericht Lichttechnische Gemeinschaftstagung "Licht82. Dok.No.500/82. SLG, Zürich, 1982.
- \* Sørensen, K. (1975). Road surface reflection data. Report No. 10. Lysteknisk Laboratorium, Lyngby, 1975.
- \* Sørensen, K. & Nielsen, B. (1974). Road surfaces in traffic lighting. Report No. 9. Danish Illuminating Engineering Laboratory, Lyngby, 1974.
- \* Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1969). Beschouwingen ten aanzien van een esthetisch verantwoorde vormgeving van wegen, Deel 3. Wegen 43(1969)226-234.
- \* Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1974). Het wegbeeld als toetssteen voor het wegontwerp. Twee delen. Rijkswaterstaat Serie No 15. Den Haag, 1974.
- \* Steenks, K. (1992). Beleidsaspecten gemeentewegen. In: PAOVV (1992a).
- \* Stolzenberg, K. (1984). Konzepte und Empfehlungen für Tunnelbeleuchtung. In: Licht84 (1984).
- \* SVEN (1981). Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting. SVEN, Apeldoorn, 1981.
- \* SWOV (1972). Psychological aspects of driver behaviour. Symposium Noordwijkerhout, 2-6 August 1972. SWOV, Voorburg, 1972.
- \* Tanner, J.C. & Harris, A.J. (1955). Street lighting and accidents; Some British investigations. In: CIE (1955).
- \* Theewes, J. (1989). Visual selection: Endogenous and exogenous control; A review of the literature. IZF 1989 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.

- \* Theewes, J. (1990). Exogenous and endogenous control of visual attention. IZF 1990 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1990.
- \* Theewes, J. (1992). Selective attention in the visual field.. Proefschrift VU, Amsterdam. Bariet, Ruinen, 1992.
- \* Tooke, W.R. & Hurst, D.R. (1975). Wet night visibility study. G. Dot Res. Proj. No. 6701. Dept. of Transportation of Georgia, 1975.
- \* TRB (1984). Providing visibility and visual guidance to the road user. Symposium, July 30-August 1, 1984. TRB, Washington, DC, 1984.
- \* TRB (1988). Symposium on visibility criteria for signs, signals and roadway lighting. Minneapolis, Mn, August 3-5, 1988. Transportation Research Board, Committee on Visibility, 1988.
- \* Turner, H.J.(1972). The effectiveness of the NSW Street Lighting Subsidy System. National Road Safety Symposium, Canberra, 1972
- \* Van Bommel, W.J.M. (1978). Optimization of road lighting installations by the use of performance sheets. Lighting Res. & Technol. 10(1978)189.
- \* Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Kluwer, Deventer, 1980.
- \* Van den Brink, T.D.J. (1991). Verkeer en licht: Visuele aspecten. Den Haag, RWS/DVK, 1991.
- \* Van den Brink, T.D.J. (1992). Beleidsaspecten Rijkswegen. In: PAOVV (1992a).
- \* Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1987). De waardering van de verlichting van enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom (Niet gepubliceerd).
- \* Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1990). Die Bewertung öffentlicher Beleuchtung von Landstrassen. In: NSVV, 1990a.
- \* Vermeulen, J. & Knudsen, B. (1968). Het ontwerpen van een verlichting van voorgeschreven luminantie en gelijkmatigheid. Philips Tech. Tijdschr. (168)29.
- \* Vos, J.J. (1983). Verblinding bij tunnelingangen I: De invloed van strooilicht in het oog. IZF 1983 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- \* Vos, J.J. & Padmos, P. (1983). Straylight, contrast sensitivity and the critical object in relation to tunnel entrance lighting. CIE, Amsterdam, 1983.
- \* Waldram, J.M. (1938). The revealing power of street lighting installations. Trans. Illum. Engn. Soc. (London) 3(1938)173-196.
- \* Walraven, J. (1980). Visueel critische elementen bij nachtrijden; Een verkennend onderzoek. Rapport C 80-22. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- \* Walsh, J.W.T. (1953). Photometry (2nd edition). Constable Co. Ltd., London, 1953.
- \* Walthert, R. (1976). Verschiedene Systeme der Tunnelbeleuchtung. In: LITG (1976).
- \* Walthert, R. (1977). Tunnel lighting systems. Int. Lighting Rev. (1977)112.
- \* Walthert, R. (1978). Sehverhältnisse im Bereich von Tunneln. Strasse und Verkehr 64(1978)235-239.
- \* Weir, D.H. & McRuer, D.T. (1967). Conceptualization of overtaking and passing manoeuvres on two-lane rural roads. Vol. IV. Driver control. Systems Technology Inc., Hawthorne, Cal., 1967.
- \* Wertheim, A.H. (1986). Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer. IZF 1986 C-25. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- \* Westermann, H.-O. (1963). Reflexionskennwerte von Strassenbelägen. Lichttechnik 15(1963)507-510.
- \* Westermann, H.-O. (1964). Das Reflexionsverhalten bituminöser Strassendecken im Zusammenhang mit der Griffigkeit. Strasse u. Tiefbau 18(1964)290-295.
- \* Westermann, H.-O. (1967). Het ontwerpen van de openbare verlichting van de stad. Pol. Techn. Tijdschr.(1967)854-859.



- \* Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostatis: Implications for safety and health. *Risk Analysis* 2(1982)209-225. (Cit.: OECD, 1990).
- \* Wilde, G.J.S. (1982a). Critical issues in risk homeostatis theory. *Risk Analysis* 2(1982) 249-258 (Cit.: OECD, 1990).
- \* Wilde, G.J.S. (1984). Evidence refuting the theory of risk homeostasis? A rejoinder to Frank P. McKenna. *Ergonomics* 27(1984)197-304.
- \* Zwahlen, H.T. (1979). Driver eye scanning behaviour at tunnel approaches. Vol 1. Franklin Inst. Res. Lab. Philadelphia, Pa, 1979.
- \* Zwahlen, H.T. (1980). Driver eye scanning behaviour in rain and during an unexpected windshield wiper failure. *Z.f.Verkehrssicherheit* 26(1980)148-155.

## TABELLEN 1 T/M 11

Tabel 1. *Ontwikkelingen van achtergronden voor het verkeer in 2010 (peiljaar 1986) CBP-Middenscenario (ontleend aan Bovy, 1991).*

Tabel 2. *Ontwikkeling verkeersvolume in Nederland (in miljarden voertuigkm) (Naar Bovy, 1991).*

Tabel 3. *Prognose goederenvervoer (SVV-II ongewijzigd beleid) (Naar Bovy, 1991).*

Tabel 4. *Weg- en verkeerskenmerken van het landelijk wegennet in 1986 (Gebaseerd op Janssen, 1988; de gegevens zijn afgerond).*

Tabel 5. *Weg- en verkeerskenmerken van het landelijk wegennet in 2010 (Scenario bij ongewijzigd beleid) (Gebaseerd op Janssen, 1988; de gegevens zijn afgerond)*

Tabel 6. *Ongevallengegevens van het landelijk wegennet in 1986 (Ontleend aan Janssen, 1988).*

Tabel 7. *Ongevallengegevens van het landelijk wegennet in 2010 (Scenario bij ongewijzigd beleid; een middenvariant) (Ontleend aan Janssen, 1988).*

Tabel 8. *Kencijfers Nederland naar wegfunctie in 2010, verschillende varianten (naar Koornstra et al. (eds.), 1992).*

Tabel 9. *Letselongevallen in afhankelijkheid van de lichtgesteldheid, het weer en de toestand van de weg (doden plus ziekenhuisgewonden, opgaven 1991).*

Tabel 10. *De 'preview' (Schreuder, 1991).*

Tabel 11. *Verkeersongevallen en slachtoffers volgens manoeuvre van het ongeval (Ontleend aan CBS, 1992).*

Bevolking	+ 4%
Huishoudens	+ 18%
Werkers	+ 30%
Reëel inkomen per werker	+ 65%
Huishoudinkomen	+ 80%
Aantal auto's	+ 74%

Tabel 1. *Ontwikkelingen van achtergronden voor het verkeer in 2010 (peiljaar 1986) CBP-Middenscenario (Ontleend aan Bovy, 1991).*

	1970	1980	1986	2010
Personenauto km	37,5	61,4	67,9	115,0
Vrachtauto km	5,7	8,4	9,0	18,0

Tabel 2. *Ontwikkeling verkeersvolume in Nederland (in miljarden voertuigkm) (Naar Bovy, 1991).*

	1986 mln ton	2010 mln ton	Index 1986=100
<i>Binnenlands vervoer</i>			
weg	364	597	164
Rail	5	5	100
Binnenvaart	84	111	132
Totaal	453	713	157
<i>Internationaal vervoer</i>			
Weg	92	210	228
Rail	12	15	125
Binnenvaart	154	224	145
Totaal	258	449	174

Tabel 3. *Prognose goederenvervoer (SVV-II ongewijzigd beleid) (Naar Bovy, 1991).*

Wegtype	Lengte (km) (duizend)	mvt werkdag (duizend)	mvt-km werkdag (miljoen)	mvt-km totaal (miljard)
AS>4s	0,24	87	21	7,2
AS 4s	1,7	34	60	20,2
AW 2b	0,2	18	3,6	1,22
AW 1b	2,1	6,2	13	4,5
WG 2b	0,25	19	4,9	1,68
WG 1b	6,5	5,2	34	11,8
WA 2s	11,7	1,4	16,4	6,0
WA 1s	31,7	0,3	10,0	3,6
Tot.buiten b.k.	54,5	2,89	162	56,2
VA	11,5	4,8	55	19
WS	33,5	0,68	23	7,8
Tot.binnen b.k.	45	1,7	78	26,6
Totaal	99,5	2,42	240,8	82,75

Tabel 4. Weg- en verkeerskenmerken van het landelijk wegennet in 1986 (Gebaseerd op Janssen, 1988; de gegevens zijn afgerond).

Wegtype	Leng (km) (duizend)	mvt werkdag (duizend)	mvt-km werkdag (miljoen)	mvt-km totaal (miljard)
AS>4s	0,57	104	60	20,3
AS 4s	2,1	44	94	32
AW 2b	0,1	53	5,6	1,9
AW 1b	3,3	9,5	31	11
WG 2b	-	-	-	-
WG 1b	6,8	8,4	57	21
WA 2s	12,3	2,4	30	11
WA 1s	33,3	0,54	18	6,5
Tot.buiten b.k	58,6	5,0	295	103
VA	12,0	7,0	84	28,6
WS	34,8	1,00	35	11,8
Tot.binnen b.k	46,8	2,5	119	40,3
Totaal	105,4	3,93	414	143,1

Tabel 5. Weg- en verkeerskenmerken van het landelijk wegennet in 2010 (Scenario bij ongewijzigd beleid) (Gebaseerd op Janssen, 1988; de gegevens zijn afgerond).

Wegtype	Letsel ong.	Let.ong/ km/jr	Let.ong/ mvt-km	Slacht- offers	Doden
AS >4s	476	1,967	0,066	698	30
AS 4s	1500	0,852	0,074	2157	111
AW 2b	182	0,926	0,150	282	17
AW 1b	475	0,225	0,105	653	79
WG 2b	455	1,806	0,270	550	40
WG 1b	3540	0,542	0,301	4826	239
WA 2s	3055	0,261	0,512	3802	224
WA 1s	3102	0,098	0,854	3880	217
Tot.buit. b.k	12785	0,235	0,228	16849	957
VA	25010	2,171	1,330	27207	477
WS	5786	0,173	0,744	7554	95
Tot.bin. b.k.	30796	0,684	1,159	34761	572
Totaal	43581	0,438	0,527	51610	1529

Tabel 6. *Ongevallengegevens van het landelijk wegennet in 1986 (Ontleend aan Janssen, 1988).*

Wegtype	Letsel ong.	Let.ong/ km/jr	Let.ong/ mvt-km	Slacht- offers	Doden
AS >4s	932	1,615	0,046	1322	46
AS 4s	1630	0,763	0,051	2267	94
AW 2b	201	1,895	0,103	300	14
AW 1b	782	0,239	0,073	1041	103
WG 2b	11	1,555	0,187	13	1
WG 1b	4316	0,629	0,208	5690	230
WA 2s	3780	0,307	0,354	4550	218
WA 1s	3835	0,115	0,591	4638	211
Tot.buit. b.k	15487	0,264	0,151	19821	917
VA	29320	2,448	1,028	31640	402
WS	6783	0,195	0,575	8785	80
Tot.bin. b.k	36103	0,771	0,895	40425	482
Totaal	51590	0,490	0,361	60246	1400

Tabel 7. *Ongevallengegevens van het landelijk wegennet in 2010 (Scenario bij ongewijzigd beleid; Middenvariant) (Ontleend aan Janssen, 1988).*

Kencijfers Nederland naar wegfunctie 2010, Variant 0

Functie weg	Weglengte km	Intens. vtg/etm	Letsel aantal	per vtg.km * 10 <sup>6</sup>	Doden aantal	per vtg.km * 10 <sup>8</sup>
stroom	7827	17023	4230	0,09	364	0,75
ontsluit	13906	3520	12109	0,68	401	2,25
verblijf	78080	558	10992	0,69	471	2,96
<b>totaal</b>	<b>99813</b>	<b>2262</b>	<b>27332</b>	<b>0,33</b>	<b>1237</b>	<b>1,50</b>

Kencijfers Nederland naar wegfunctie 2010, Variant I

Functie weg	Weglengte km	Intens. vtg/etm	Letsel aantal	per vtg.km * 10 <sup>6</sup>	Doden aantal	per vtg.km * 10 <sup>8</sup>
stroom	7827	26264	6526	0,09	562	0,75
ontsluit	13906	5431	18683	0,68	619	2,25
verblijf	78080	310	6107	0,69	262	2,96
<b>totaal</b>	<b>99813</b>	<b>3059</b>	<b>31316</b>	<b>0,28</b>	<b>1444</b>	<b>1,30</b>

Kencijfers Nederland naar wegfunctie 2010, Variant II

Functie weg	Weglengte km	Intens. vtg/etm	Letsel aantal	per vtg.km * 10 <sup>6</sup>	Doden aantal	per vtg.km * 10 <sup>8</sup>
stroom	7827	26264	5363	0,07	319	0,43
ontsluit	13906	5431	14012	0,51	259	0,94
verblijf	78080	310	5496	0,62	189	2,13
<b>totaal</b>	<b>99813</b>	<b>3059</b>	<b>24871</b>	<b>0,22</b>	<b>767</b>	<b>0,69</b>

Kencijfers Nederland naar wegfunctie 2010, Variant III

Functie weg	Weglengte km	Intens. vtg/etm	Letsel aantal	per vtg.km * 10 <sup>6</sup>	Doden aantal	per vtg.km * 10 <sup>8</sup>
stroom	7827	26264	4976	0,07	68	0,09
ontsluit	13906	5431	1828	0,07	25	0,09
verblijf	78080	310	586	0,07	8	0,09
<b>totaal</b>	<b>99813</b>	<b>3059</b>	<b>7391</b>	<b>0,07</b>	<b>101</b>	<b>0,09</b>

Tabel 8. Kencijfers Nederland naar wegfunctie 2010, verschillende varianten (naar Koornstra et al. (eds.), 1992).

Weer	Wegdek	Daglicht	Duister onverlicht	verlicht	Totaal
Droog	droog	27075 (77,4%)	1350 (58,2%)	5188(57,0%)	6538(57,3%)
Regen	nat	3125 ( 8,9%)	313 (13,5%)	1572(17,3%)	1885(16,5%)
Alles	nat	7240 (20,7%)	820 (35,3%)	3666(40,3%)	486(39,3%)
Totaal		35003 (100%)	2319 (100%)	9098(100%)	11417(100%)

Tabel 9. Letselongevallen in afhankelijkheid van de lichtgesteldheid, het weer en de toestand van de weg (doden plus ziekenhuisopnamen, opgaven 1991).

Manoeuvre	Preview (m)	Visueel kritisch element
* Dwarspositie	75	wegmarkeringen
* Snelheid (gekozen)	75	wegmarkeringen
- (voorligger)	.....	(voorligger)
* Bochten	375	lichtmasten, bermreflectoren
* Inhalen zonder tegenliggers (niet relevant)		
* Inhalen met tegenliggers	600 - 1250	lichtmasten (tegenliggers)
* Stoppen voor discontinuïteiten	175	(wegmarkeringen), bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeers-tekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten
* Noodmanoeuvres		
- uitwijken	125	obstakels (ander verkeer)
- noodstop	140	obstakels (ander verkeer)

Tabel 10. De 'preview' (Schreuder, 1991).

	Verkeersongevallen			Slachtoffers		
	Totaal	w.o.		Overleden		Gewonden opgenomen in een ziekenhuis
		met dodelijke afloop	met alcoholgebruik	Totaal	w.o. ter plaatse	
<b>Totaal</b>	11 734	1 155	1 088	1 281	699	12 006
<b>9 Botsingen tussen een rijdend voertuig en een voorwerp of dier</b>	2 041	266	411	292	174	2 095
911 met boom, huis enz., links of rechts van de weg	1 198	200	225	220	134	1 208
912 met lichtmast enz., links of rechts van de weg	235	14	62	17	8	249
913 met verkeersbord, links of rechts van de weg	108	12	25	12	7	111
921 met verkeerszuil, verkeersbord op vluchtheuvel	33	4	14	4	3	33
931 met vangrail e.d., links, rechts of midden	199	17	36	17	12	216
941 met overstekend dier	36	3	-	3	2	39
951 met los voorwerp op of langs de weg	64	4	6	5	3	68
990 overige	168	12	43	14	5	171
<b>0 Eenzijdige verkeersongevallen</b>	902	68	132	80	48	900
011 voertuig blijft op de weg na slippen	502	17	58	18	6	511
021 voertuig raakt van de weg af op een rechte weg	62	3	8	3	2	61
022 voertuig raakt van de weg af in of na een bocht	38	3	10	3	-	40
031 voertuig raakt van de weg af op kruising, inrit	14	-	6	-	-	15
041 voertuig raakt van de weg af in het water	43	24	2	33	22	21
042 voertuig raakt van de weg af in greppel of sloot	227	21	47	23	18	235
099 overige	16	-	1	-	-	17

Tabel 11. Verkeersongevallen en slachtoffers volgens manoeuvre van het ongeval, 1991 (Ontleend aan CBS, 1992, Tabel 4).