

Optimalisatiemogelijkheden schakelregime openbare verlichting RWS Noord-Brabant

10 maart 2004 – versie 2.0 definitief



Inhoudsopgave

1	Conclusies en aanbevelingen	4
1.1	Doel onderzoek	4
1.2	Conclusies	4
1.3	Aanbevelingen	5
1.4	Toekomst	6
2	Algemeen	7
2.1	Informatie opdrachtgever	7
2.2	Uitgangsdocumenten	7
2.3	Betrokken derden	7
2.4	Rapport	7
2.5	Onderzoeksgebied	7
3	Criteria voor het in- en uitschakelen van de openbare verlichting	8
3.1	Het schakelen op astronomische tijd	8
3.2	Het schakelen op het gemeten lichtniveau	8
3.3	Het schakelen op een combinatie van de criteria tijd en lichtniveau	9
4	Nadere beschouwing van het lichtniveau criterium	10
5	Het startgedrag van de verlichting	12
6	Het theoretisch optimale inschakelcriterium	13
7	Het theoretisch optimale uitschakelcriterium	14
8	De huidige wijze van schakelen	15
9	Energiegebruik en energiekosten	17
	Bijlage 1: Inschakelcommando's openbare verlichting	18
	Bijlage 2: Uitschakelcommando's openbare verlichting	19
	Bijlage 3: Inventarisatie Lagedruk- en hogedruk Natriumlampen en energiegebruik	20
	Bijlage 4: Artikel "Wijze van in- en uitschakelen van de openbare verlichting"	21

Lijst met Figuren

.....

Figuur 1: Combinatie van het schakelen op tijd en lichtniveau	9
Figuur 2: Gemiddeld verloop van de daglichtsterkte gedurende de schemering	11
Figuur 3: In- en uitschakelcommando's voor de openbare verlichting	15
Figuur 4: Het werkelijke verloop van inschakeling door middel van lichtmeting	18
Figuur 5: Het werkelijke verloop van uitschakeling door middel van lichtmeting	19

1 Conclusies en aanbevelingen

1.1 Doel onderzoek

Rijkswaterstaat, directie Noord Brabant heeft ingenieursbureau De Kruijter Openbare Verlichting gevraagd onderzoek te doen naar: "De effectiviteit van de inzet van openbare verlichting van Rijkswaterstaat Directie Noord Brabant". Dit onderzoek heeft tot doel na te gaan of én in hoeverre het moment van de in- en uitschakeling van de openbare verlichting verder geoptimaliseerd kan worden.

De reden voor dit onderzoek is het steeds terugkerend verzoek vanuit de beheerders te zoeken naar energiebesparingsmogelijkheden voor de diverse installaties die bij Rijkswaterstaat aanwezig zijn. De openbare verlichting langs rijkswegen is veruit de grootste energieverbruiker binnen de directie Noord-Brabant.

Op basis van dit uitgangspunt, en het gevoel van velen, dat de openbare verlichting "vaak" te vroeg ontsteekt en te laat dooft is reden geweest dit gevoel te onderzoeken. Door aanpassing van deze tijden kan in theorie veel energie bespaard worden. Ook zal door het minder lang laten branden van de openbare verlichting het preventief onderhoud uitgesteld kunnen worden en wordt ook eventuele lichthinder teruggedrongen.

Alle overig denkbare oplossingen om energie te besparen zijn veelal in de afgelopen jaren doorgevoerd. Te denken is hierbij aan het vervangen van conventionele ballasten door elektronische ballasten, toepassen van lampen met hoog rendement en langere levensduur en het minder snel verlichten op een zo laag mogelijk niveau bij nieuwe werken of reconstructies.

Het vooronderzoek heeft een inventariserend en oriënterend karakter en bevat een overzicht van de soorten en de omvang van de toegepaste verlichting. Verder is er een nadere analyse en inschatting gemaakt van mogelijke verbeteringen en hun effecten op energie- en onderhoudskosten.

1.2 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan gesteld worden dat het huidig schakelregime, op basis van combinatie lichtsensoren en ingestelde astronomische klok nagenoeg optimaal te noemen is.

Het verfijnen van het huidig schakelregime kan alleen op basis van het aanpassen van de ingestelde schakelwaarden (Luxwaarden waarbij opgemerkt moet worden dat dit slechts resulteert in het enkele minuten per dag minder lang branden van de openbare verlichting).

Op het moment dat Essent besluit de lichtsensoren te verwijderen uit het schakelcircuit zal dit, zonder aanpassing van de astronomische schakeltijden, resulteren in een vermeerdering van het aantal branduren. Of deze actie al uitgevoerd is en/of doorgevoerd zal worden is tot op heden nog niet bekend. De EWD heeft op basis van de verstrekte informatie bezwaar aangetekend tegen de voorgenomen aanpassing van het schakelregime.

Het aantal onnodige branduren dat hierdoor ontstaat is afhankelijk van de weersomstandigheden, maar lag op basis van het aantal branduren over het jaar 2002 (bron Essent) op 109,5 uur per jaar.

In geld uitgedrukt komt dit bij de huidige energiekosten neer op ongeveer € 6.992,- per jaar wat overeenkomt met ongeveer **2,6 % meer energieverbruik** over het gehele openbare verlichting areaal.

Als Essent de lichtsensoren verwijderd en aanvullend bereid is de schakeltijden aan te passen aan de in het rapport genoemde tijden, zal het aantal branduren gelijk blijven aan het huidige aantal branduren. Deze aanpassing betekent het inrichten van een speciaal TF-sigitaal "openbare verlichting RWS". Het zal duidelijk zijn dat hier voor Rijkswaterstaat aanzienlijke kosten aan verbonden zijn voor met name het vervangen van alle TF-relais in alle ontsteekpunten langs rijkswegen.

Verdere conclusie is dat, uit het oogpunt van optimalisatie, het schakelen van de openbare verlichting op het criterium lichtniveau de voorkeur verdient boven het schakelen op het criterium astronomische tijd. Bij het tijdcriterium worden als gevolg van veranderende lichtsterktes veiligheidsmarges ingebouwd die onnodige branduren veroorzaken.

Tot slot kan gesteld worden dat de relatie tussen de ontwerp-niveaus van de openbare verlichting en het schakelregime al oud is maar nog steeds van toepassing is. De verwachte voordelen zijn niet of nauwelijks haalbaar vanwege de snelheid waarmee het donker en/of licht wordt.

1.3 Aanbevelingen

De openbare verlichting voor Noord-Brabant wordt op dit moment op het lichtniveau criterium geschakeld door Essent. Als vangnet voor het niet juist werken van de lichtmeting is een backup voorzien in de vorm van een astronomisch tijdsvenster. Na onderzoek blijkt dat het huidige schakelregime (Essent) in nagenoeg optimaal te noemen is op basis van de in diverse stukken genoemde daglicht schakelniveaus. (40 Lux aan – 20 Lux uit (Uh)).

De EWD adviseert op basis van de genoemde zaken onderstaande punten uit te voeren:

- 1) Blijf de ontwikkelingen bij Essent volgen om op basis van de ontwikkelingen het aantal branduren niet meer te laten worden.
- 2) Onderzoek verdere mogelijkheden om een eigen schakelregime toe te passen om onafhankelijk van de energieleverancier te bepalen wanneer wij onze wegen verlichten. Deze voorkeur (invesetering) zal niet terug te verdienen zijn binnen de gebruikelijk genoemde 10 jaar en zal genomen moeten worden op basis van beleid.

3) Tot aan het moment van het inrichten van een eigen regime kan het huidig regime toegepast worden. Als de lichtmeting verdwijnt uit het schakelregime moet in overleg met Essent het schakelregime aangepast worden volgens onderstaand advies:

- Het signaal moet gebaseerd zijn op de astronomische klok (zon op en zon onder) aangevuld met onderstaande instelling:
 - zes minuten later inschakelen na astronomisch in; en
 - twaalf minuten eerder uitschakelen na astronomisch uit.

Door deze aanpassing zal het aantal branduren op jaarbasis gelijk zijn aan het aantal branduren op basis van het huidig schakelregime.

Deze aanpassing betekent overigens dat als Essent een "speciaal" RWS-schakelsignaal instelt als TF-signaal alle TF-ontvangers in onze ontsteekpunten vervangen moeten worden door nieuw geprogrammeerde TF-relais. Ook deze investering zal hoger zijn dan de toename van het energieverbruik en niet binnen 10 jaar terug verdiend worden.

Het inrichten van een "eigen" signaal biedt Rijkswaterstaat de mogelijkheid te experimenteren met het eigen schakelregime om op basis van "beleving" en onderzoek het regime te optimaliseren. Dit optimaliseren zal waarschijnlijk niet resulteren in een aanzienlijk lager aantal branduren op jaarbasis. Dit wordt met name veroorzaakt door het startgedrag van de aanwezige lagedruk Natrium lampen.

1.4 Toekomst

Steeds meer beheerders kiezen op dit moment al bewust voor een eigen aansturing via een eigen communicatienetwerk, zoals GSM, GPRS, LAN, WAN, VIC-net etc. De verwachting van velen is dat het aangeboden TF-signaal steeds verder afgebouwd zal worden en vervangen wordt door andere systemen. Met name de verouderde techniek en de synchronisatie van de diverse signalen tussen de diverse hoogspanningsstations leidt tot hoge beheerskosten voor de energieleverancier. Zodra ook hier verdere bezuinigingen doorgevoerd worden is het einde snel in zicht.

De mogelijkheid om verlichting dynamisch aan te bieden verdient aandacht vanwege het directe en kostenloze effect op energie- en onderhoudskosten. Het toepassen van diminstallaties voor het bereiken van energiebesparing voor bestaande installaties is op grond van de hoogte van de investeringskosten in relatie tot de besparing niet te verdedigen. Voor nieuw aan te leggen installaties verdient dit echter serieuze overweging. Als uitgangspunt hiervoor wil ik verwijzen naar de "beleidsnota openbare verlichting" uitgegeven door de AVV.

Bij de beslissing om dynamische installaties te bouwen zal het aantal lagedruk Natrium lampen sterk afgebouwd worden vanwege de reden dat dit lamptype niet gedimd kan worden. Op het moment dat wegvakken volledig verlicht worden met hogedruk Natrium lampen kan overwogen worden het schakelregime voor dit gebied al te optimaliseren ten opzichte van de gebieden waar nog steeds lagedruk Natriumlampen aanwezig zijn.

Het gevolg is wel een NIET uniform uitgevoerd schakelregime over Noord-Brabant. Dit zal waarschijnlijk geen problemen geven als met gezond verstand gekeken wordt naar de overgangplaatsen (bijvoorbeeld knooppunten).

2 Algemeen

2.1 Informatie opdrachtgever

Opdrachtgever : Rijkswaterstaat directie Noord-Brabant
Elektrotechnische en Werktuigbouwkundige Dienst
Maastrichtseweg 71 a
5215 AD 's-Hertogenbosch
tel. : 073-6802802
fax. : 073-6120146

Contactpersonen : Bas Dietvorst

Deze opdracht is mede mogelijk gemaakt door subsidieverstrekking van de afdeling Duurzaam Bouwen (DuBo) van de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

2.2 Uitgangsdocumenten

- CDEO database AIB, versie maart 2002
- CDEO database AID, versie maart 2002
- CDEO database AIE, versie april 2002
- Artikel "Wijze van in- en uitschakelen van de openbare verlichting", blad Elektrotechniek nr. 58, juni 1980 (Bijlage 4.).

2.3 Betrokken derden

Toine Adams : Productmanager Openbare Verlichting
Ron Keijsers : Energiecoördinator

2.4 Rapport

Opgesteld door : Nico de Kruijter
: De Kruijter Openbare Verlichting
Bewerkt door : Bas Dietvorst en Toine Adams

2.5 Onderzoeksgebied

De in- en uitschakelcommando's voor de openbare verlichting in Noord-Brabant komen van de stroomleverende bedrijven (Essent en NRE) en worden via een TF-systeem gedistribueerd naar de diverse OV-installaties.

Beiden genereren op dit moment de schakelcommando's met behulp van een astronomische klok in combinatie met een lichtmeting. Vanwege de reden dat het grootste deel van Noord-Brabant valt in het leveringsgebied van Essent zijn alle onderzoeken gericht op het schakelregime van Essent.

3 Criteria voor het in- en uitschakelen van de openbare verlichting

De doelstelling van het toe te passen schakelregime is om er voor te zorgen dat de verlichting niet te vroeg wordt ingeschakeld en het uitschakelen ook niet later gebeurt dan strikt noodzakelijk. Ten aanzien van het criterium voor het automatisch in- en uitschakelen van de openbare verlichting zijn er twee principiële mogelijkheden, te weten schakelen op astronomische tijd en op het gemeten lichtniveau.

3.1 Het schakelen op astronomische tijd

Hierbij wordt in- en uitgeschakeld op van dag tot dag vooraf ingestelde tijdstippen ten opzichte van de astronomisch bepaalde actuele ondergang en opkomst van de zon. Over het jaar genomen is het gemiddelde aantal uren per dag tussen zonsopgang en ondergang de helft van een etmaal, namelijk 12 uur. Het schakeltijdstip dat hoort bij het gewenste buitenlichtniveau voor in- en uitschakelen van de openbare verlichting komt in de praktijk overeen met een halfuur na zonsondergang en een halfuur voor zonsopgang. Bij heldere hemel is dit een eenduidige relatie. Op jaarbasis betekent dit criterium per dag gemiddeld 11 branduren. Op jaarbasis betekent dit een totaal van $365 \times 11 = 4.015$ branduren.

Omdat het in de avond sneller donker kan worden en in de ochtend langer donker kan blijven als gevolg van lichtdemping door meer of minder bewolking wordt bij de schakeling op basis van tijd in het algemeen een kwartier extra schakelmarge aangehouden. Door dit extra kwartier verschuift de buitenlichtsterkte bij schakelen naar een ongeveer 8 maal hogere waarde dan zonder dit kwartier het geval is. De hogere lichtsterkte zorgt ervoor dat bij een aanwezigheid van zware wolkenformaties in de praktijk nog juist voldoende licht op de wegen overblijft. Bij een lichtere bewolking of de afwezigheid daarvan wordt bij dit criterium op een hoger lichtniveau in- en uitgeschakeld dan strikt nodig. Op jaarbasis komen we met dit extra half uur schakelmarge per dag op een totaal van $365 \times 11,5 = 4.197,5$ branduren. Het kenmerk van deze toepassing is eenvoud, stabiliteit en betrouwbaarheid.

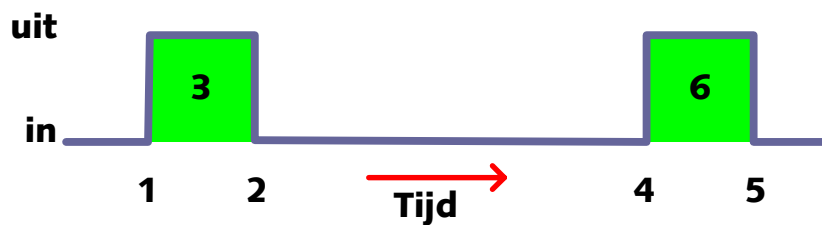
3.2 Het schakelen op het gemeten lichtniveau

Bij deze methode wordt in- en uitgeschakeld op een vooraf ingesteld niveau van de gemeten lichtsterkte. De schakeltijdstippen volgen het gewenste ontwerp lichtniveau en hiermee is dit qua methode de meest optimale wijze van schakelen. Ten opzichte van het schakelen op astronomische tijd is met lichtmeting een vermindering van het aantal branduren te bereiken. Door de actuele lichtmeting wordt geschakeld op de werkelijke buitenlichtsterkte en ontstaat in principe geen onnodige brandtijd. Met evenredige gevolgen voor het energiegebruik, de levensduur van de lampen en dus ook het onderhoud. Het kenmerk van deze toepassing is een nauwkeurige relatie met het actuele lichtniveau, een grotere onderhoudsgevoeligheid vanwege omgevingsinvloeden zoals vervuiling van de lichtsensor en de omgevingstemperatuur van de lichtsensor en daardoor enigszins kwetsbaarder en minder stabiel.

N.B. Gelet op de schommelende buitenlichtsterkte bij wisselende bewolking verdient het werkelijke niveau van het uitschakelen van de openbare verlichting nadere aandacht. Inschakelen kan veilig onvertraagd geschieden bij een eenmalige onderschrijding van het inschakelcriterium. Uitschakelen vereist daarentegen niet het eenmalig overschrijden van het uitschakelcriterium maar detectie van het blijvend overschrijden van de minimum lichtwaarde tijdens de schommeling.

3.3 Het schakelen op een combinatie van de criteria tijd en lichtniveau

Bij het combineren van de genoemde criteria gaat het om zowel de toepassing van de lichtmeting voor het optimaal kunnen schakelen op de actuele lichtwaarde als de toepassing van de inherente betrouwbaarheid van de klokschakeling. De astronomische klok bepaalt hierbij de tijdvensters waarbinnen voor verdere optimalisatie in- en uitschakeling door lichtmeting mag plaatsvinden. Bij afwezigheid van of een defect aan de lichtmeting bepaalt de klok de in- en uitschakelmomenten. In onderstaande figuur 1 is dit aanschouwelijk gemaakt.



- | | | |
|---|---|---|
| 1 | een half uur voor zonsondergang | = vrijgave van lichtmeting |
| 3 | tijdvenster inschakelen door lichtmeting | = inschakelen door lichtmeting |
| 2 | een half uur na zonsondergang | = inschakelen via klok bij falen lichtmeting |
| 4 | een half uur voor zonsopgang | = vrijgave van lichtmeting |
| 6 | tijdvenster uitschakelen door lichtmeting | = uitschakelen door lichtmeting |
| 5 | een half uur na zonsopgang | = uitschakelen via klok bij falen lichtmeting |

Figuur 1: Combinatie van het schakelen op tijd en lichtniveau

4 Nadere beschouwing van het lichtniveau criterium

Het doel van het schakelcriterium is om ervoor te zorgen dat het lichtniveau niet lager wordt dan het gewenste operationele lichtniveau van de openbare verlichting. Bij daling van het daglichtniveau tot aan de grens van de gewenste horizontale verlichtingssterkte dient de verlichting te worden ingeschakeld en bij stijging van het daglichtniveau tot dezelfde grens dient de verlichting weer te worden uitgeschakeld.

De door RWS Noord-Brabant gehanteerde ontwerp-niveaus voor de openbare verlichting van hun rijkswegen zijn veelal gesteld op 0,7 cd/m². De waarde die wordt toegepast wordt bepaald door het aantal toe- en afritten per km, de verkeersintensiteit, de complexiteit van het gezichtsveld, de moeilijkheidsgraad van de rijtaak en de omgevingsluminantie (werkwijze volgens NPR 13201-1). De bij de genoemde luminantie behorende horizontale verlichtingssterkte is afhankelijk van de aanwezige (berekende) wegdekreflectie en bevindt zich tussen tien en vijftien lux.

Het verloop van de daglichtafname in de avond en de daglichttoename in de ochtend rondom het te handhaven minimum lichtniveau hebben wij in de afgelopen periode handmatig gemeten. De resultaten hiervan zijn in onderstaande tabel weergegeven. De metingen vonden plaats op 23 juni 2003 in de avond bij lichte bewolking en 25 juni 2003 in de ochtend bij heldere hemel. De nauwkeurigheid van de intervallen, van de metingen, is +/- 15 seconden.

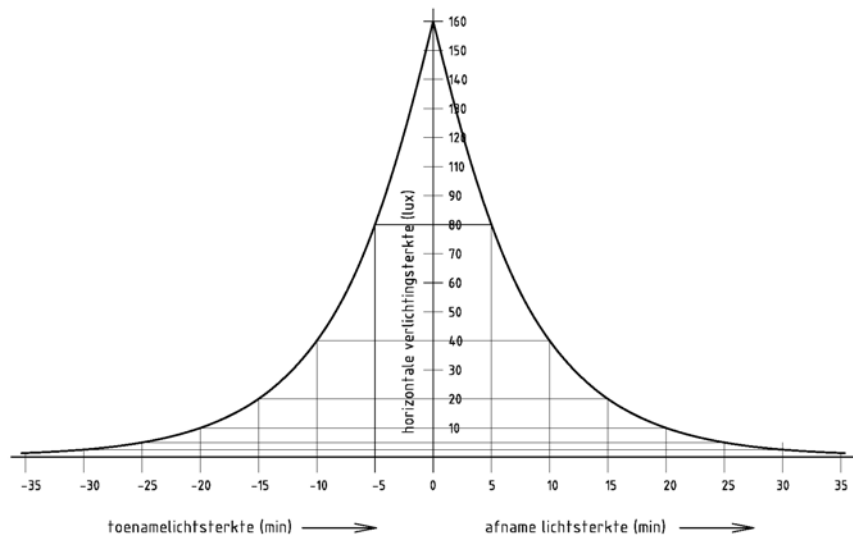
Tijdstip avond (uur)	Lichtsterkte (Eh)	Tijdstip ochtend (uur)	Lichtsterkte (Eh)
		05.20	130 lux
22.10	81 lux	05.15	81 lux
22.15	69 lux	05.10	55 lux
22.20	45 lux	05.05	35 lux
22.25	20 lux	05.00	21 lux
22.30	7,5 lux	04.55	12 lux
22.35	2,8 lux	04.50	7 lux

Uit deze waarnemingen is af te leiden hoe de buitenlichtsterkte verandert per tijdseenheid. Zowel bij het invallen van de duisternis als bij het opkomen van het daglicht wordt gemiddeld een ongeveer gelijke verandering van de lichtsterkte per tijdseenheid gevonden. Uitgezet in een reeks vermindert de lichtsterkte iedere 5 minuten hierbij gemiddeld met een factor 0,61. Bij toename van de lichtsterkte in de ochtendschemering vinden we het omgekeerde. Dat betekent een toename van de lichtsterkte met een gemiddelde factor van 1,63 (=1/0,61) na iedere vijf minuten.

Dezelfde vorm, waarbij de af- en toename van de daglichtsterkte rondom schemering met een gelijk percentage per tijdseenheid verandert, wordt ook beschreven in het artikel over de wijze van in- en uitschakelen van de openbare verlichting uit het tijdschrift Elektrotechniek van juni 1980. Hier wordt het

begrip halveringstijd van de lichtsterkte ingevoerd. Afhankelijk van de aard van de bewolking beweegt de over een periode van een jaar gemeten halveringstijd van de lichtsterkte zich volgens dit artikel in een bereik tussen 4 en 10 minuten. Voor de gemiddelde halveringstijd wordt in dit artikel van vijf minuten uitgegaan. Dat betekent dat gemiddeld over het jaar de daglichtsterkte bij daling dus na iedere vijf minuten halveert (vermindert met 50%) en bij stijging na iedere vijf minuten verdubbelt.

Voor onze verdere beschouwingen hanteren we deze gemiddelde halveringstijd. Dat levert de onderstaande karakteristieken op voor het gemiddeld verloop van het invallen van de duisternis en het opkomen van het daglicht rondom de schemering.



Figuur 2: Gemiddeld verloop van de daglichtsterkte gedurende de schemering

De vorm van de karakteristieken geeft aan dat rondom ons interessegebied de lichtsterkte snel toeneemt in de ochtendschemering en in de avondschemering snel afneemt. Het schakelen op een lager of hoger lichtniveau betekent in de tijd gezien daardoor slechts een beperkt tijdsverschil op te leveren. Schakelen op bijvoorbeeld een lichtniveau van 40 lux in plaats van op 20 lux betekent in de praktijk een tijdsverschil van 5 minuten en van 40 lux naar 10 lux betekent dan dus een tijdsverschil van gemiddeld 10 minuten.

5 Het startgedrag van de verlichting

De toename van de lichtsterkte vanaf het moment van inschakelen van de verlichting tot het op volle sterkte komen verloopt conform de gegevens uit de Philips catalogus als volgt:

Lichtstroom (%)	Master SON-T	Master SOX-E
Tijd (minuten)		
1	30	0
2	70	0
3	95	0
4	100	0
5		0
6		10
7		20
8		30
9		50
10		80
11		100

Voor lagedruk Natriumlampen (SOX-)lampen geldt dat ze vanaf de zesde minuut licht(niveau) beginnen te produceren en voor hogedruk Natriumlampen (SON) is dit al na 1 minuut. De SOX-lampen zijn 11 minuten na het inschakelen op volle lichtsterkte en voor de SON-lampen is dat 4 minuten. De lichttoename van de verlichting gaat daarna sneller dan de afname van het daglichtniveau. Dat betekent dat op het moment dat de lampen licht gaan geven het daglichtniveau tot de ontwerpwaarde gedaald mag zijn.

N.B. Lagedruk Natriumlampen zijn donker oranje na het ontsteken en lijken licht te geven. Pas na de genoemde tijd kan echt gesproken worden over "licht" geven. De lamp geeft dan een licht oranje beeld. Tot aan dat moment is er alleen sprake van visuele geleiding door de lichtpunten.

Op grond van het opstartgedrag van de lagedruk Natriumlampen moet de installatie in theorie 5 minuten eerder worden gestart dan wanneer er alleen hogedruk Natriumlampen worden toegepast. In theorie kan dus vijf minuten per dag worden bespaard op de brandduur door alle lagedruk Natriumlampen te vervangen door hogedruk Natriumlampen. Hier ligt een potentiële besparingsmogelijkheid van 30 branduren per jaar. Relatief gezien komt dat neer op een besparing van 0,75% op de totale branduren en dus ook energiekosten. De vervangingskosten van de lampen in relatie tot de geringe omvang van de besparing zijn hoog. Vervanging bij einde levensduur is echter aan te bevelen. Bijkomend nadeel is ook dat lagedruk Natriumlampen niet te dimmen zijn en een kortere levensduur hebben dan hogedruk Natriumlampen. Voor de in de "Beleidsnota Openbare Verlichting" genoemde dynamische openbare verlichting is geen plaats voor lagedruk Natriumlampen.

6 Het theoretisch optimale inschakelcriterium

Na inschakelen geven lagedruk Natriumlampen de eerste 6 minuten vrijwel geen licht. Daarna neemt de verlichtingssterkte toe met een waarde hoger is dan de daglichtafname. Lagedruk Natriumlampen moeten dus 6 minuten voor het bereiken van het schakelcriterium, de minimum toegestane buitenlichtsterkte, te worden ingeschakeld. Om deze extra zes minuten te kunnen realiseren bij het schakelen op lichtniveau moet het schakelcriterium met twintig Lux verhoogd worden waardoor het schakelniveau op ongeveer vijfendertig Lux komt. Zie hiervoor de karakteristieken van figuur 2.

Na het inschakelen geven hogedruk Natriumlampen de eerste minuut geen licht. Daarna neemt de verlichtingssterkte toe met een waarde die hoger is dan de daglichtafname. Hogedruk Natriumlampen moeten dus één minuut voor het bereiken van de minimum buitenlichtsterkte worden ingeschakeld. Om dit te kunnen realiseren vinden we in de karakteristiek van figuur 2 een schakelniveau voor alleen hogedruk Natriumlampen dat ongeveer drie Lux hoger ligt. Zolang de installatie voor openbare verlichting op een gemeenschappelijk schakelcriterium wordt bedreven is de hoogste waarde maatgevend en wordt een deel van de lampen enkele minuten te vroeg ingeschakeld.

De tijd die het TF-systeem nodig heeft voordat het signaal van de meting bij de masten aankomt bedraagt volgens opgave van Essent maximaal veertig seconden wat theoretisch ook kan worden vertaald naar een overeenkomstig hoger lichtniveau bij het inschakelen. Gelet op de af- en toenamesnelheid van de lichtsterkte bij schemering volgens figuur 2 is deze vertragingstijd in de praktijk te verwaarlozen.

Het verschil in het schakelmoment tussen de ontwerp lichtcriteria van $1,0 \text{ cd/m}^2$ en $0,7 \text{ cd/m}^2$ bedraagt op grond van de karakteristieken van figuur 2 ongeveer 2 minuten. Dus wegen met een minimum vereiste lichtwaarde van $0,7 \text{ cd/m}^2$ kunnen in theorie twee minuten later worden ingeschakeld dan de wegen waarbij een minimumwaarde van $1,0 \text{ cd/m}^2$ wordt aangehouden.

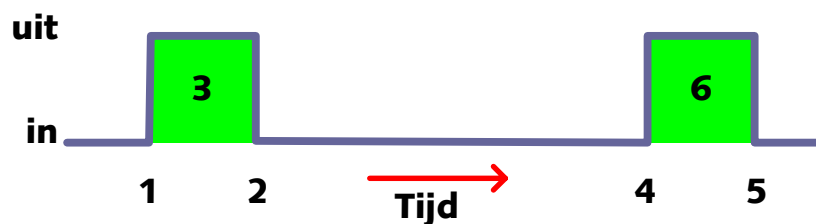
7 Het theoretisch optimale uitschakelcriterium

Gelet op de eis dat de minimum lichtwaarde op de weg de ontwerpwaarde niet mag onderschrijden is uitschakeling eerst mogelijk als het daglichtniveau tot de ontwerpwaarde is gestegen. Uiteraard geldt ook hier dat voor een adequate stabilisatie tussen het meetsignaal en het schakelsignaal moet worden gezorgd en dat het effect van de vertragingstijd goeddeels kan worden geëlimineerd door het schakelniveau adequaat aan te passen.

Als er een diminstallatie aanwezig is kan hiervan gebruik worden gemaakt om het lichtniveau van de masten modulerend te laten afnemen met de toename van het daglichtniveau. In een periode van circa zeven minuten wordt dan het lichtniveau van de masten afgebouwd naar een minimum waarde. Hiermee kan eventueel een beperkte energiebesparing worden bereikt.

8 De huidige wijze van schakelen

De in- en uitschakelcommando's voor de openbare verlichting in Noord-Brabant komen van de stroomleverende bedrijven (Essent en NRE) en worden via een TF-systeem gedistribueerd naar de diverse OV-installaties.



Figuur 3: In- en uitschakelcommando's voor de openbare verlichting

De astronomische klok geeft een half uur voor zonsondergang (1) een vrijgave van de lichtsensor die op basis van het actuele lichtniveau de feitelijke inschakeling (3) verzorgt. Na inschakeling blijft het inschakelcommando staan en wordt tot aan de uitschakelcyclus niet meer naar de meting gekeken. Mocht de inschakeling niet werken als gevolg van een defecte lichtmeting dan schakelt de klok maximaal een half uur na zonsondergang (2) de verlichting alsnog in. In de ochtendschemering wordt een half uur voor zonsopgang (4) de lichtsensor weer vrijgegeven die dan aan de hand van het lichtniveau het feitelijke uitschakelmoment (6) bepaalt. Mocht de uitschakeling door middel van de lichtmeting niet werken dan wordt maximaal een half uur na zonsopgang (5) de uitschakeling door de klok alsnog verzorgd. De genoemde lichtsensor is verticaal tegen een raam aangebracht in een 150kV schakelstation van Essent in 's-Hertogenbosch.

Het aantal branduren op jaarbasis is door de invloed van de lichtmeting niet constant. RWS Noord-Brabant had een recent jaartotaal aan branduren volgens opgave van 4.146 uur. Een instelling van de astronomische klok bedraagt over een jaar gemiddeld elf uur per dag. Een aldus ingestelde astronomische klok genereert dus een inschakelduur per jaar van 365×11 is 4.015 uren. Het voordelig effect van de door Essent toegepaste lichtmeting ten opzichte van alleen een klokschakeling bedraagt in dit geval dus blijkbaar honderd eenendertig uur op jaarbasis. Als de astronomische klok ingesteld wordt met eerder genoemde marge van dertig minuten (zie 3.1 Het schakelen op astronomische tijd) betekent dit een verschil van eenenvijftig en een half uur op jaarbasis.

Het totaal aan schakelmarge voor het opvangen van verduistering bij wisselende bewolking bedraagt bij alleen klokbedrijf een half uur per dag wat afgerond 180 extra branduren op jaarbasis oplevert. Daarvan is een deel nodig voor de bewolkte dagen en een deel in mindere mate of niet. Dus de verhouding tussen de besparing en de volledige marge, te weten $51,5/180 = 28\%$ van de theoretische marge aan branduren wordt op dit moment blijkbaar effectief bespaard door toepassing van de lichtmeting.

De omgerekende horizontale lichtniveaus waarop thans wordt geschakeld door Essent bedragen volgens opgave 44 lux bij inschakeling en 20 Lux bij uitschakeling (de verticale lichtniveaus zijn volgens opgave 27 en 12 Lux). Gelet op de tijd die nodig is voor de lagedruk Natriumlampen voordat ze licht gaan geven is dat een goede keuze. In onze beschouwing komen we theoretisch uit op 35 Lux zoals hierboven is beschreven. Bij het uitschakelen zou 14,3 Lux optimaal zijn maar dat verschil (2 minuten) is te verwaarlozen.

Op basis van deze gegevens concluderen wij dat het huidige schakelregime van Essent redelijk optimaal is te noemen.

Voor 2004 is Essent van plan om alleen op basis van de astronomische klok te schakelen. Dit in verband met de kosten van transmissie van het lichtniveau signaal. Het nadeel voor RWS bedraagt in dat geval ongeveer 110 branduren per jaar afhankelijk van het verloop van de weersinvloeden in het beschouwde jaar.

In de Bijlage 1 en 2 zijn de werkelijke schakelniveaus waarop de openbare verlichting in Noord-Brabant werd geschakeld voor de periode van 1 juli 2002 tot 1 juli 2003 grafisch weergegeven. Bijlage 1 geeft de inschakelcommando's weer en Bijlage 2 de uitschakelcommando's.

Uit het verloop van de grafieken zijn duidelijk de lichtsterkte variaties te zien als gevolg van de verschillen in wolkenformaties. De gemiddelde waarde van de werkelijke inschakelkromme is bepaald door Essent en blijkt ten opzichte van de astronomische inschakelkromme een tijd van twaalf minuten later te liggen. Bij de werkelijke uitschakelkromme blijkt de gemiddelde waarde hiervan ten opzichte van de astronomische uitschakeltijd zes minuten vroeger te liggen.

In vergelijking met het schakelen op astronomische tijd met een veiligheidsmarge van twee maal een kwartier per dag en het gemiddelde van de werkelijkheid op basis van gemeten lichtniveaus vinden we dus een verschil van 30 minuten – 18 minuten = 12 minuten. Het in- en uitschakelen op basis van alleen astronomische tijd met de bekende veiligheidsmarge kost dus voor het beschouwde jaar (medio 2002 – medio 2003) $365 \times 12 = 4380$ minuten of drieënzeventig uur meer dan indien op het werkelijke lichtniveau wordt geschakeld.

9 Energiegebruik en energiekosten

In Bijlage 3 is een specificatie gegeven van de lagedruk Natrium en hogedruk Natriumlampen met hun aansluitvermogen die op dit moment worden toegepast. Het totaal uit het net opgenomen vermogen voor deze verlichting in de provincie Noord-Brabant bedraagt 1.569 kW of 1.569 MW.

Volgens opgave van Delta Nutsbedrijven wordt voor RWS Noord-Brabant thans geen onderscheid gemaakt tussen dag- en nachttarief en wordt een prijs van € 0,04070 per kWh (groen) gehanteerd.

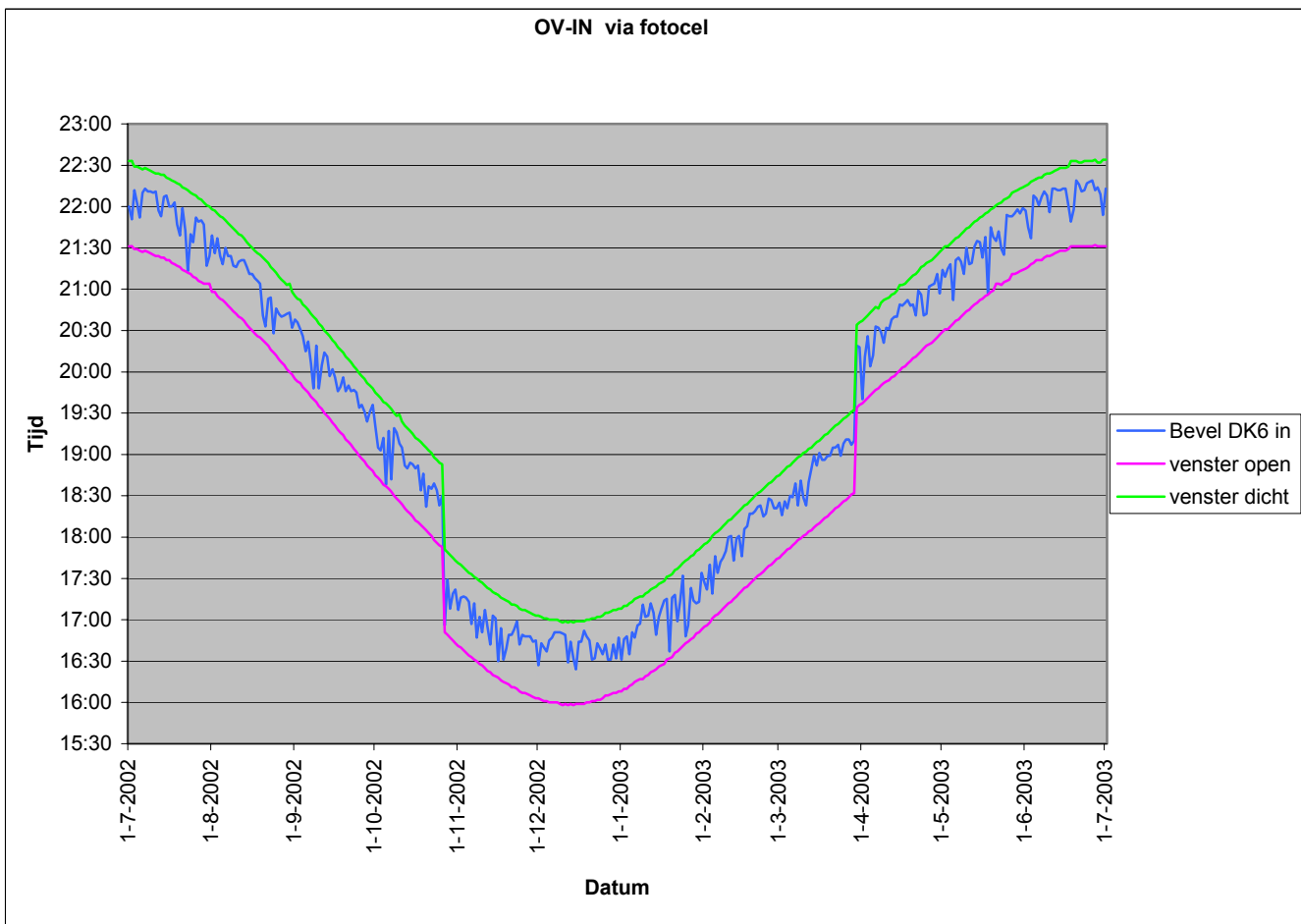
Opgemerkt dient te worden dat het opgegeven energietarief van Delta Nuts voor RWS relatief laag genoemd mag worden wat betekent dat toekomstige tariefschommelingen zich eerder naar boven dan naar beneden zullen bewegen.

De openbare verlichting zoals aangegeven van RWS Noord-Brabant gebruikt thans elk uur een hoeveelheid energie van 1.569 kWh. De kosten van het energiegebruik voor deze openbare verlichting bedragen op dit moment $4197,5\text{h} \times 1.569\text{ kW} \times € 0,04070/\text{kWh} = € 268.000,-$ afgerond per jaar.

De kosten voor een extra verbruik van 73 branduren op jaarbasis bedragen € 4.661,- .

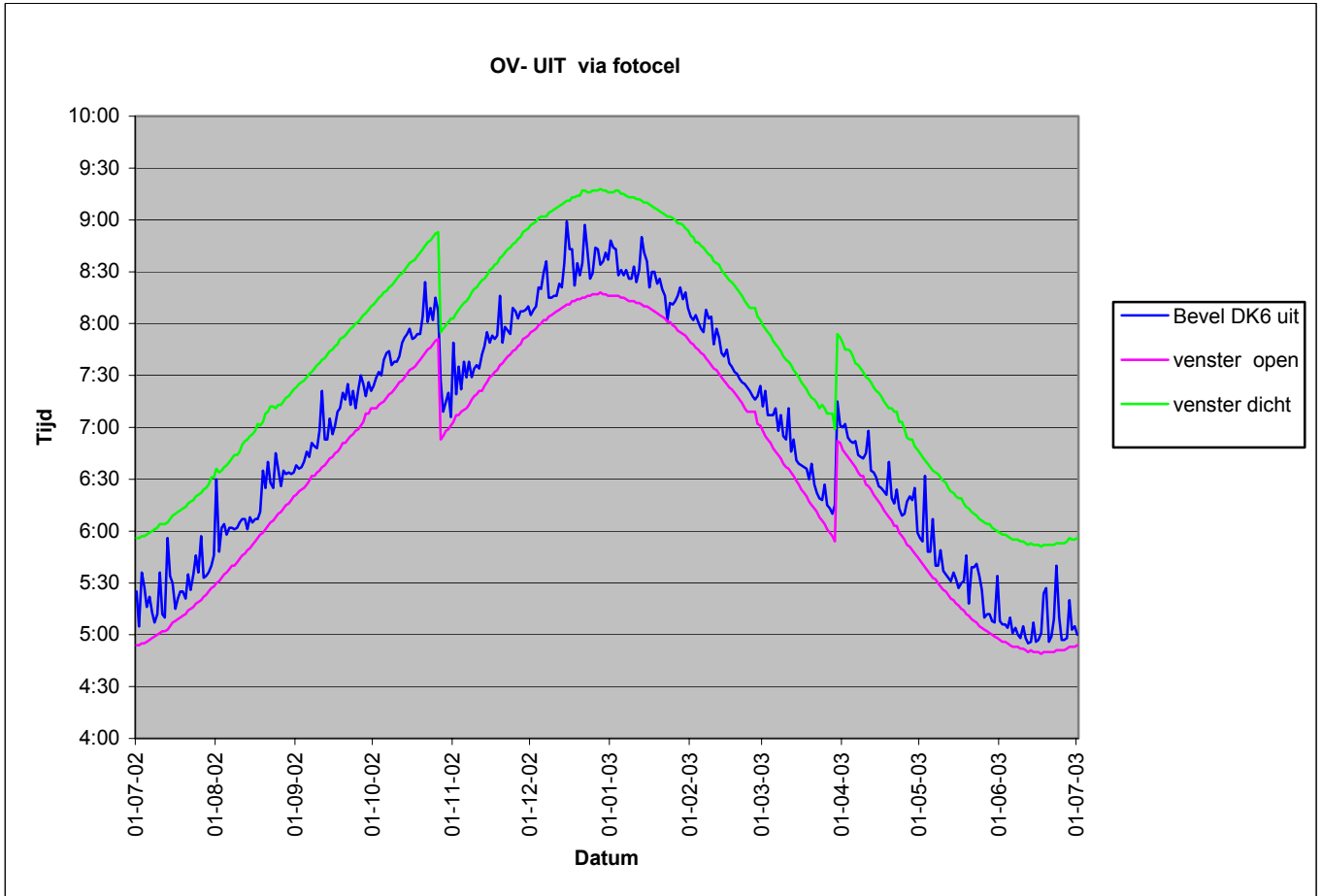
Gelet op de snelle verandering van het lichtniveau rondom de schemering is een besparing in tijd door het lichtniveau lager te leggen slechts zeer klein. Aangenomen dat, door lagedruk Natriumlampen te vervangen door hogedruk Natriumlampen, nog eens gemiddeld vijf minuten per dag zou zijn te besparen, betekent dat op jaarbasis een besparing van dertig branduren ofwel in geld uitgedrukt een besparing van ongeveer € 1.900,-. Dat is relatief gezien 0,72% van het totale energieverbruik. de verlichting aan te sturen.

Bijlage 1: Inschakelcommando's openbare verlichting



Figuur 4: Het werkelijke verloop van inschakeling door middel van lichtmeting

Bijlage 2: Uitschakelcommando's openbare verlichting



Figuur 5: Het werkelijke verloop van uitschakeling door middel van lichtmeting

Bijlage 3: Inventarisatie Lagedruk- en hogedruk Natriumlampen en energiegebruik

Het totaal opgenomen systeemvermogen voor conventionele toepassing van SOX- en SON-lampen bedraagt voor Rijkswaterstaat Noord-Brabant 1.569 kW.

Het opgenomen vermogen bij HF toepassing is volgens onderstaande gegevens gemiddeld ongeveer 10 procent lager. Op dit moment worden alle nieuwe installaties voorzien van elektronische ballasten bij zowel lagedruk- als hogedruk Natriumlampen.

Lamp type	aantal	Lamp Vermogen	Systeem Vermogen HF (W)	Systeem vermogen Conv. (W)	Totaal systeemvermogen Conventioneel (kW)
SON	60	70	82	90	5.4
SON	788	100	112	122	96.5
SON	3475	150	168	179	622
SON	459	250		288	132.2
SON	140	400		453	63.4
SOX	75	35	38	45	3.4
SOX	252	55	60	67	16.9
SOX-E	2419	66	72	84	203.2
SOX	575	90		106	61
SOX-E	2486	91	99	110	273.5
SOX	212	135		163	34.6
SOX	2	150		181	0.4
SOX	16	180		219	56.1
					Totaal 1569 kW

Het systeemvermogen is het totaal opgenomen vermogen van de lamp, voorschakelapparatuur en eventueel de aanwezige starter, condensator, filterspoel en controller bij elkaar opgeteld. Dit vermogen wordt uitgedrukt in Watt en is sterk afhankelijk van de leeftijd van de lamp en apparatuur. De gegevens van de fabrikant vermelden het systeemvermogen onder geconditioneerde omstandigheden gemeten. Deze waarde komt niet overeen met de gemeten waarden in het veld.

Op basis van de meest gunstige waarde en de slechtste waarden is besloten het systeemvermogen van conventionele systemen (koper-ijzer ballast) te bepalen op basis van de beste waarde aangevuld met 2/3 van het verschil tussen beide waarden.

Bij toepassing van elektronische ballasten wordt op basis van het "Constant Wattage Output" gerekend met de aangegeven waarde die constant blijft ongeacht de leeftijd van het systeem.

Fictief voorbeeld:

Lamp 100W

Minimaal systeemvermogen:

110 Watt

Systeemvermogen onder slechtste omstandigheden:

200 Watt

Door EWD gehanteerd vermogen:

$110 \text{ Watt} + (2/3 * 90 \text{ Watt}) = 170 \text{ Watt}$
systeemvermogen.

NB. Deze waarden worden ook toegepast bij het ontwerpen van de kabelnetten.

Wijze van in- en uitschakelen van de openbare verlichting

In het kader van doeltreffend energiegebruik

Samenvatting

Voor een doeltreffend energiegebruik verdient het in- en uitschakelen van de openbare verlichting door middel van foto-elektrische cellen de voorkeur boven het schakelen met astronomische schakelklokken.

Aanbevolen wordt om in gebieden met stedelijke bebouwing de openbare verlichting 's avonds in te schakelen, wanneer de horizontale verlichtingssterkte in het vrije veld is gedaald tot 80 lux en 's ochtends uit te schakelen, zodra genoemde verlichtingssterkte weer tot 40 lux is gestegen, respectievelijk buiten gebieden met stedelijke bebouwing zulks te doen bij een verlichtingssterkte van respectievelijk 40 en 20 lux. ←

⇒ Foto-elektrische schakelaars moeten zijn ingericht voor bijstellen op een eenvoudige wijze van de in- en uitschakelniveaus.

Om de invloed van klimatologische verschillen en van mechanische beschadigingen zoveel mogelijk uit te sluiten, verdient het aanbeveling de foto-elektrische cel binnenshuis te plaatsen, echter met vrij uitzicht op de hemelkoepel.

1. Inleiding

De oliecrisis in het najaar van 1973 is aanleiding geweest om ook voor de openbare verlichting mogelijkheden tot vermindering van het energieverbruik te onderzoeken. Eén van de mogelijkheden hiertoe werd gezien in het niet eerder dan strikt nodig inschakelen, respectievelijk in het niet later dan strikt nodig weer uitschakelen van die verlichting.

Ten aanzien van het in- en uitschakelen onderscheidt men in principe twee mogelijkheden: de klokschakeling op bepaalde tijdstippen en de celschakeling bij bepaalde verlichtingsniveaus. Bij de klokschakeling wordt door middel van een astronomische schakelklok, op van dag tot dag vooraf vastgestelde tijdstippen ten opzichte van zonsopkomst ingeschakeld, respectievelijk ten opzichte van zonsopkomst uitgeschakeld. Volgens de celschakeling wordt door middel van een foto-elektrische cel, bij vooraf ingestelde daglichtniveaus, de openbare verlichting in- respectievelijk uitgeschakeld.

Bij de klokschakeling dient enige reserve te zijn ingebouwd voor het geval het sneller donker wordt, respectievelijk langer donker blijft dan gemiddeld het geval is. Bij celschakeling is een dergelijke reserve uiteraard overbodig. Met laatst genoemde schakeling zou dus in principe een vermindering van het aantal branduren en daardoor van het energieverbruik van de openbare verlichting te bereiken zijn. Dit was voor de Commissie voor Openbare Verlichting aanleiding voor nader onderzoek, waarover in deze publikatie wordt bericht.

2. Vergelijking tussen klok- en celschakeling

Onafhankelijk van de manier, waarop de openbare verlichting wordt geschakeld, dient de inbedrijfstelling op een zodanig tijdstip plaats te vinden, dat het lichtniveau nimmer lager is dan het niveau dat door de openbare verlichting, na het verstrijken van de aanlooptijd van de lampen, wordt verschaft. Omgekeerd mag de openbare verlichting pas dan worden uitgeschakeld, wanneer de bijdrage van het daglicht ten minste even groot is geworden als het door de openbare verlichting verschaft lichtniveau; bij het uitschakelen wordt dus het totale lichtniveau tot hoogstens ongeveer de helft gereduceerd.

Bij welk daglichtniveau de openbare verlichting in- respectievelijk uitgeschakeld wordt, is een kwestie van keuze; hierop wordt ingegaan onder 3. De bedoelde niveaus kunnen op basis van een zogenaamde daglichtstatistiek gedurende de schemering, zie bijvoorbeeld *afb. 1*, ontleend aan [1], worden vertaald in tijdstippen na zonsopkomst respectievelijk vóór zonsopkomst, waarop die niveaus gemiddeld worden aangetroffen.

In *afb. 2*, die afkomstig is van het Gemeentelijk Energiebedrijf van Amsterdam, geeft de bovenste kromme de tijdstippen aan, waarop de openbare verlichting door een astronomische klok wordt ingeschakeld, welke tijdstippen overeenkomen met een halfuur na zonsopkomst. De onderste kromme geldt voor de tijdstippen die overeenkomen met een halfuur vóór zonsopkomst. De punten die verder in deze afbeelding zijn weergegeven, zijn de tijdstippen, waarop van dag tot dag de openbare verlichting in werkelijkheid is in- respectievelijk uitgeschakeld door middel van een op een bepaald daglichtniveau ingestelde foto-elektrische cel. Deze celschakelaar werkt parallel aan de klokschakelaar. Uit de afbeelding blijkt, dat de klok waarborgt, dat de openbare verlichting 's avonds wordt ingeschakeld, anderzijds zorgt de foto-elektrische cel ervoor, dat bij zonsopkomst de openbare verlichting door de klok niet te vroeg wordt uitgeschakeld. Kennelijk liggen de tijdstippen waarop de verlichting 's avonds wordt ingeschakeld vroeger dan de klokinstelling en in de ochtend later. De cel is dus ingesteld op een hoger lichtniveau dan met de klokinstelling overeenkomt. Als de klokinstelling voor de avond 15 minuten vroeger zou worden gesteld en in de ochtend steeds 15 minuten later, dan zouden in *afb. 2* in beide gevallen de punten gelijkelijk om de krommen verdeeld liggen. Het is duidelijk dat dan, gemiddeld over een jaar, de tijd gedurende welke de openbare verlichting volgens de cel „te lang” brandt gelijk is aan de tijd gedurende welke de openbare verlichting op andere dagen, eveneens volgens de cel, „te kort” brandt. „Te kort” en „te lang” zijn uiteraard gerekend ten opzichte van de kromme. Analoge registraties, bijvoorbeeld door het Gemeente

Energiebedrijf van Rotterdam en door het Gemeentelijk Gas-, Elektriciteits- en Waterbedrijf van Arnhem, hebben tot dezelfde constatering geleid.

Men mag dus concluderen dat, wanneer bij gebruik van een astronomische schakelklok de tijdstippen van in- en uitschakelen overeenstemmen met het daglichtniveau waarop de foto-elektrische cel bij toepassing van celschakeling is afgesteld, in beide gevallen het aantal branduren van de openbare verlichting gemiddeld gelijk zal zijn. Een zo preciese afstelling voor een klokschakeling is in de praktijk echter ongewenst, omdat dan de openbare verlichting op donkere dagen te laat wordt ingeschakeld, respectievelijk te vroeg wordt uitgeschakeld en anderzijds op heldere dagen te vroeg wordt ingeschakeld respectievelijk te laat wordt uitgeschakeld. Men zal bij de klokschakeling dus een zekere tijdsmarge moeten aanhouden, wat tot meer branduren leidt dan de celschakeling. Het verschil hoeft weliswaar niet te groot te zijn, namelijk op grond van afb. 2 gemiddeld 15 minuten zowel bij in- als bij uitschakelen, maar dat maakt toch per jaar nog circa 180 uur verschil. Dit getal moet dan worden gerelateerd aan de bedrijfstijd van de openbare verlichting, te weten circa 4000 uur voor de lampen die de hele nacht door branden en circa 2000 uur voor die, welke alleen in de avond tot circa 24.00 uur branden. Afgezien van het gewicht, dat aan dit teveel wordt gehecht, dient ook het psychologische effect van het op heldere dagen met klokschakeling te vroeg inschakelen van de openbare verlichting te worden overwogen.

Samenvattend mag men concluderen, dat celschakeling de voorkeur verdient boven klokschakeling. Opgemerkt moet echter worden, dat celschakeling alleen doelmatig kan worden toegepast in een gebied waarbinnen de klimatologische omstandigheden in goede benadering constant zijn.

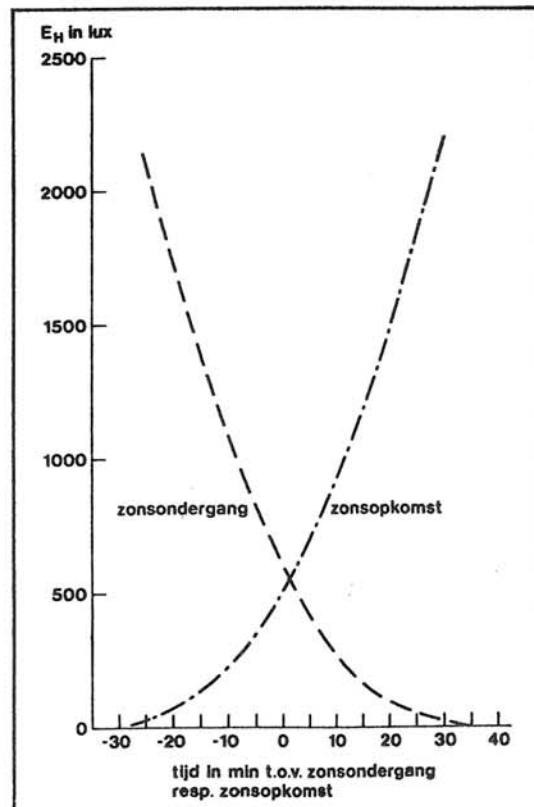
3. Keuze van de lichtniveaus voor in- respectievelijk uitschakeling

Op de hieronder geschetste wijze kan een verantwoorde schatting worden gemaakt van het daglichtniveau, waarbij de openbare verlichting moet worden ingeschakeld. Deze schatting is uitsluitend gebaseerd op een aantal lichttechnische uitgangspunten. Geen rekening wordt bijvoorbeeld gehouden met het tijdstip, waarop verlichte wegwijzers worden ingeschakeld of waarop verkeerslichten worden overgeschakeld van dag- op nachtschakeling. Omdat het niet mogelijk is om precies aan te geven bij welk daglichtniveau de openbare verlichting moet worden ingeschakeld, is als eerste uitgangspunt gekozen, dat de openbare verlichting moet worden ingeschakeld op het moment, waarop de gemiddelde wegdeklluminantie (\bar{L}) ten gevolge van het daglicht is afgenomen tot 2 cd.m^{-2} , zulks in overeenstemming met de opvatting van Krochmann et al. [2] en van Greger [3]. Dit lichtniveau van 2 cd.m^{-2} wordt door de NSvV aanbevolen voor de openbare verlichting binnen de bebouwde kom voor de meest veeleisende verkeersomstandigheden. Genoemde auteurs gaan uit van een gemiddelde verhouding van \bar{E}_H en \bar{L} onder daglichtomstandigheden van 20 lux per cd.m^{-2} , zodat 2 cd.m^{-2} overeenkomt met een horizontale verlichtingssterkte E_H van 40 lux. Uiteraard is de omrekeningsfactor een gemiddelde; de preciese waarde hangt af van het type wegdek, van de oriëntatie van de weg of straat ten opzichte van de ondergaande zon en van de aard van de bebouwing.

Tweede uitgangspunt is, dat de foto-elektrische cel een zo goed mogelijk onbelemmerd uitzicht op de hemelkoepel moet hebben. Dit uitgangspunt geeft de celschakeling een algemene en reproduceerbare basis en is minder willekeurig dan het definiëren van een bepaalde mate van bebouwing. Verschillende auteurs, bijvoorbeeld Reesinck [1], Krochmann et al [2] en Greger [3] komen tot de conclusie, dat de horizontale verlichtingssterkte in het vrije veld gemiddeld een factor 2 groter is dan op het wegdek in gebieden met stedelijke bebouwing. De preciese waarde van die factor hangt uiteraard weer af van de mate van bebouwing en van de oriëntatie hiervan ten opzichte van de ondergaande zon.

Met de hiervoor gevonden factor 2 tussen de verlichtingssterkte in het vrije veld en die in gebieden met stedelijke bebouwing wordt aldus gevonden, dat de openbare verlichting moet worden ingeschakeld als de verlichtingssterkte in het vrije veld tot 80 lux is gedaald.

Hoe het lichtniveau in gebieden met stedelijke bebouwing tijdens de schemering verloopt, hangt af van een drietal factoren. In de eerste plaats van de snelheid, waarmee het daglicht tijdens de schemering afneemt. In navolging van Reesinck [1], zie afbeelding 1, wordt aangenomen, dat het daglichtniveau gemiddeld afneemt met een factor 2 per 4 minuten. Door Greger [3] zijn voor Bremen in de maanden augustus en september 1977, afhankelijk van de aard van de bewolking, halveringstijden van 4 tot 10 minuten gevonden. Opgemerkt zij



Afb. 3 Gemiddeld verloop van de sterkte van het daglicht gedurende de schemering, geregistreerd in Berlijn door Stolzenberg.

nog, dat ook Stolzenberg bij daglichtregistratie in Berlijn, in de schemering halveringstijden van circa 5 minuten vindt, zoals blijkt uit de grafiek voor het jaargemiddelde als aangegeven in afb. 3.

In de tweede plaats hangt het verloop van het lichtniveau af van de aanlooptijd van de lampen en van de toename van de lichtstroom tijdens die aanlooptijd. Uit de Richtlijnen en Aanbevelingen voor Openbare Verlichting [4] blijkt, dat de aanlooptijd voor alle typen hogedruk gasontladingslampen 4 minuten is en voor lagedruk natriumlampen 10 minuten. Ter benadering wordt hier uitgegaan van een lineaire toename van de lichtstroom en van een aanlooptijd voor alle typen gasontladingslampen van 4 minuten.

Ten slotte hangt het verloop van het lichtniveau ook nog af van het niveau van de openbare verlichting.

Op grond van voornoemde uitgangspunten is voor een aantal gemiddelde horizontale verlichtingssterkten van de openbare verlichting namelijk van respectievelijk 5, 10, 20 en 30 lux het verloop van het lichtniveau geschetst in de afb. 4. Bij een aanlooptijd van 10 minuten wordt een wat snellere afname van het lichtniveau gevonden, met name kort na het inschakelmoment, maar in de genoemde voorbeelden komt het toch niet onder het niveau van de openbare verlichting.

Over het uitschakelen van de openbare verlichting in de ochtend worden in de literatuur wel waarden opgegeven, echter zonder motivering. Gewoonlijk stelt men, dat de openbare verlichting kan worden uitgeschakeld bij een daglichtniveau dat circa de helft bedraagt van het inschakelniveau. Het lijkt overigens niet onverstandig om bij de literatuur aan te sluiten en aldus voor te stellen de openbare verlichting uit te schakelen als in het vrije veld de horizontale verlichtingssterkte tot 40 lux is toegenomen. Immers in gebieden met een stedelijke bebouwing valt de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het moment van uitschakelen dan terug van 20 lux + $\bar{E}_{H,OV}$ naar 20 lux. Deze momentane reductie mag toelaatbaar worden geacht, ook op die plaatsen waar $\bar{E}_{H,OV} = 40$ lux. Bovendien moet worden bedacht, dat het lichtniveau elke 4 minuten verdubbelt en dus snel toeneemt.

Volledigheidshalve volgt hieronder nog een overzicht van de in- en uitschakelniveaus, die door de diverse

auteurs c.q. bronnen worden vermeld. Alle waarden hebben betrekking op de horizontale verlichtingssterkte \bar{E}_H in het vrije veld. In dit verband zij opgemerkt, dat de chefs van de openbare verlichting in een aantal grotere steden oorspronkelijk de instellingen hebben vermeld voor de verlichtingssterkte in gebieden met stedelijke bebouwing; die waarden zijn met de eerder genoemde factor 2 omgerekend op die voor het vrije veld. Greger noemt in zijn rapport 150 lux als inschakelmoment, maar calculeert daarbij in, dat het 4 à 5 minuten duurt alvorens het inschakelcommando de lampen heeft bereikt. De feitelijke inschakeling vindt dan dus gemiddeld bij 75 lux plaats.

auteur/bron	\bar{E}_H in lux in het vrije veld voor	
	inschakelen	uitschakelen
Reesinck (1947)	20	5
aantal GEB's (1974)	100	40
Krochmann et al. (1974)	60-90	45
Greger (1978)	75	—
Commissie OV	80	40

4. Enkele praktische aantekeningen bij het schakelen met een foto-elektrische cel

De foto-elektrische cellen moeten voldoen aan eisen ten aanzien van:

- reproduceerbaarheid
- temperatuurgevoeligheid
- mechanische kwetsbaarheid.

Over de reproduceerbaarheid kan worden opgemerkt, dat de lichtniveaus, waarbij de cel in- en uitschakelt, niet mogen verlopen met de tijd. Proeven met cellen van een drietal verschillende fabrikaten wijzen uit, dat op dit punt geen moeilijkheden zijn te vrezen. Wel kunnen deze niveaus van schakelaar tot schakelaar sterk verschillen. Het is daarom gewenst, dat de schakelaars op het gewenste schakelniveau kunnen worden ingesteld.

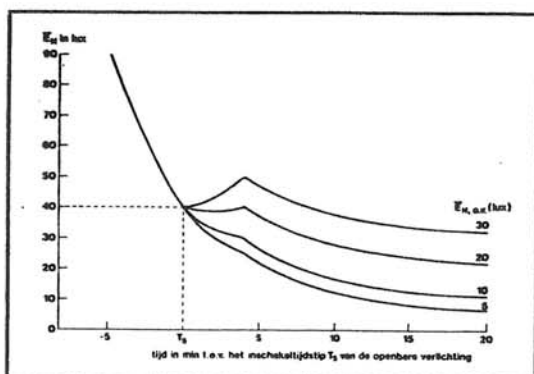
Het is nodig om de kap, waaronder de cel is aangebracht, geregeld schoon te houden, terwijl in de winter verwarming van de kap afzetting van ijs of sneeuw kan voorkomen.

Er moeten voorzieningen worden getroffen om ongewenste schakelingen te vermijden, zoals bijvoorbeeld 's avonds het uitschakelen kort na het inschakelen van de openbare verlichting, wanneer het daglicht tijdelijk toeneemt door het verdwijnen van de bewolking.

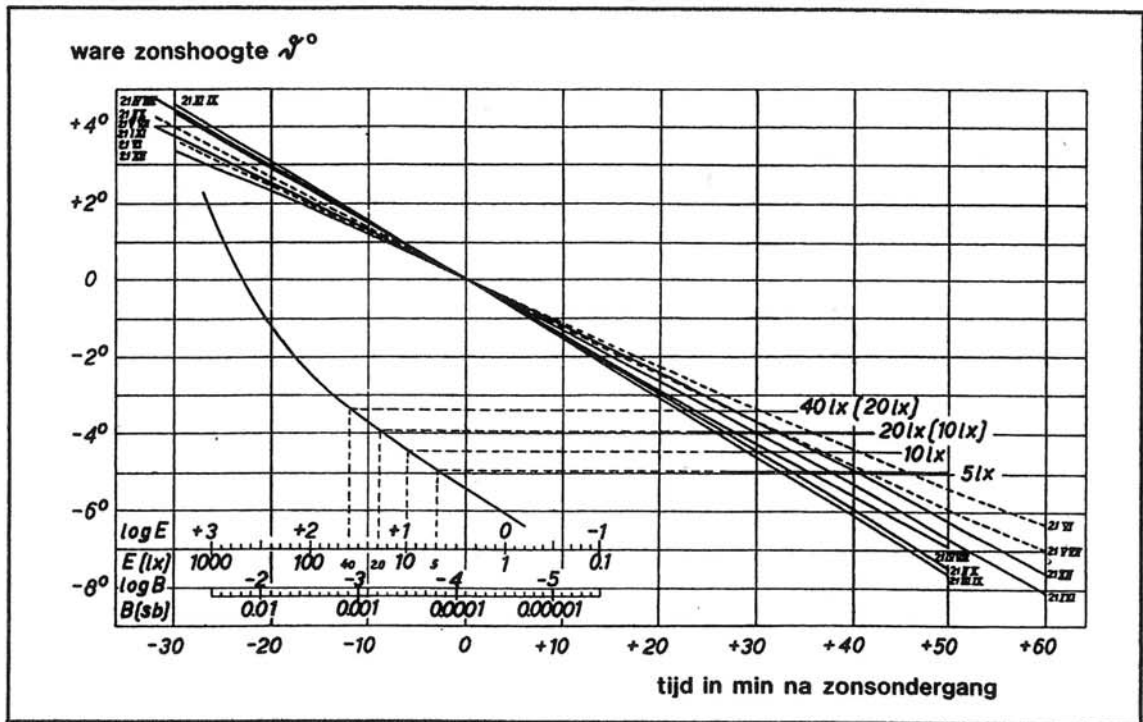
Commissie voor Openbare Verlichting
van de Nederlandse Stichting voor
Verlichtingskunde.

LITERATUUR

- J. J. M. Reesinck: „Daglicht“ Elektrotechniek 25 (1947) 16, 238-241.
- J. Krochmann, Z. Özver, A. Stockmar: „Über die Leuchtdichte von Fahrbahndecken während der Dämmerung“ Lichttechnik 26 (1974) nr. 7, 318 - 319 en nr. 8, 34-349.
- H. Greger: „Untersuchungen über den richtigen Zeitpunkt für das Ein- und Ausschalten der Straßenbeleuchtung“. Manuscript van een voordracht gehouden tijdens de IVth National Conference — with international participation — on Illuminating Engineering, 11-13 mei 1978 te Varna (BG).
- Richtlijnen en Aanbevelingen voor Openbare Verlichting. Uitg. Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde, Arnhem (1974).

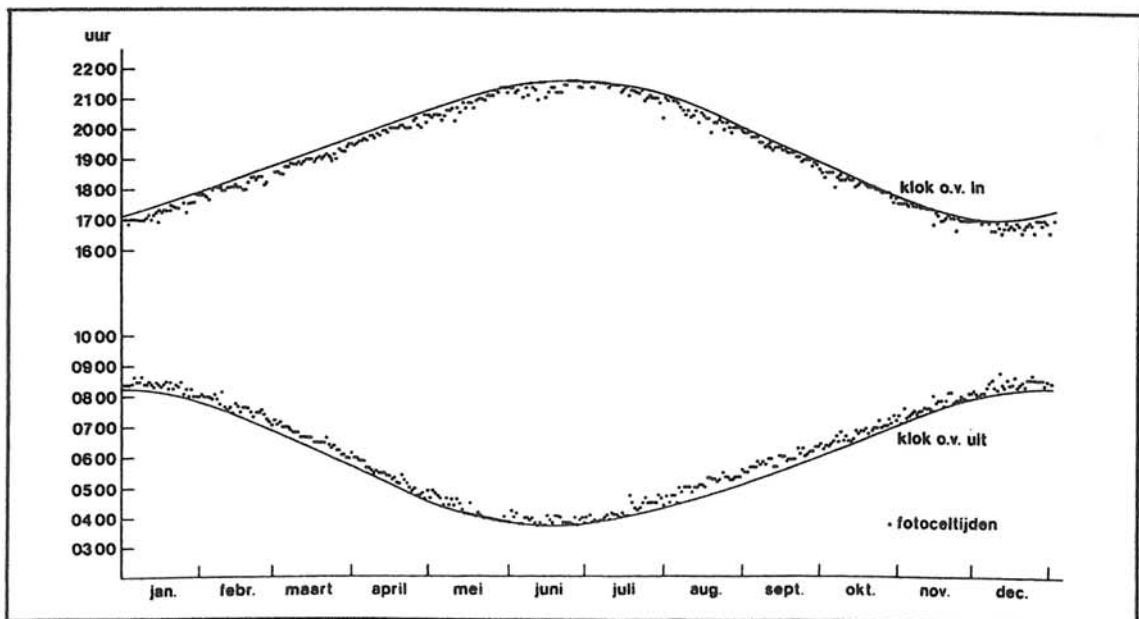


Afb. 4 Schets van het verloop van de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte \bar{E}_H binnen de bebouwde kom gedurende de schemering rond het tijdstip T_0 , waarop de openbare verlichting wordt ingeschakeld en bij verschillende sterkten van de openbare verlichting, uitgedrukt in $\bar{E}_{H,OV}$.



Afb. 1 Metingen van de schemering bij de N.V. KEMA te Arnhem volgens Reeslnck [1].

Uit de meting van de helderheid (B) van het zenith kan een schatting worden gemaakt van de horizontale verlichtingssterkte (E). De kromme links geeft de verlichtingssterkte als functie van de zonshoogte voor heldere of licht bewolkte hemel. Uit de schaarkrommen in het centrale deel van de afbeelding kan worden afgelezen hoeveel minuten na zonsondergang een bepaalde verlichtingssterkte wordt bereikt op verschillende dagen van het jaar.



Afb. 2 Verloop van de tijdstippen die vallen een halfuur na zonsondergang (bovenste kromme), respectievelijk een halfuur voor zonsopkomst (onderste kromme). De punten geven de werkelijke door een fotocel bepaalde schakeltijdstippen aan.

4.4. Besturing van OV

Soorten

Met besturing van openbare verlichting wordt de fysieke besturing van het in- en uitschakelen van openbare verlichting bedoeld en dat kan men verder als volgt verbijzonderen:

- de verschillende systemen waarmee de openbare verlichting geschakeld kan worden;
- de technische middelen waarmee de schakelhandelingen gerealiseerd worden.

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de opzet van besturing en de hierbij toe te passen hulpmiddelen.

Opzet van besturing

Afhankelijk van behoefte en mogelijkheden wordt gekozen voor een centrale of decentrale opzet om de openbare verlichting te besturen.

Bij een centrale besturing worden vanaf een enkele plek de primaire signalen gegenereerd om de OV in en uit te schakelen. Met behulp van "stuurwegen" wordt het schakelsignaal in het laagspanningsnet verder geleid. Deze stuurwegen kunnen uit de volgende media bestaan:

- aparte signaalbedrading vanaf besturingseenheid tot aan OV-net;
- toonfrequentie-systeem op het laagspanningsnet;
- radiotransmissie;
- combinatie hiervan;
- directe inschakeling.

Van decentrale besturing is er sprake wanneer vanaf meerdere plaatsen de primaire signalen gegenereerd worden om alle bedoelde OV in en uit te schakelen. De decentrale besturingseenheden opereren zelfstandig ten opzichte van elkaar en de schakeltijden van de afzonderlijke besturingseenheden hoeven dus niet synchroon te zijn. Tevens kan er sprake zijn van verschillende hulpmiddelen om de schakelsignalen te genereren.

De centrale besturing heeft een groot bereik en synchrone in- en uitschakelmogelijkheden, maar de besturing kan de schakelhandelingen niet afstemmen op plaatselijke verlichtingsomstandigheden. De decentrale besturing heeft geen ingewikkeld transmissiesysteem nodig en stemt beter af op plaatselijke verlichtingsomstandigheden, hoewel het niet-synchroon schakelen in de overgangsgebieden tot verwarring kan leiden. Bijvoorbeeld: in de eigen sectie wordt de verlichting reeds uitgeschakeld, terwijl in een naburige sectie de verlichting nog ingeschakeld is.

Hulpmiddelen

De hulpmiddelen worden onderverdeeld in besturingsmiddelen en transmissiemiddelen.

Voor OV worden meerdere mogelijkheden toegepast om de verlichting te kunnen besturen. Deze systemen blijven in ontwikkeling en nemen in mogelijkheden toe.

Ten aanzien van het in- en uitschakelen onderscheidt men twee mogelijkheden: de klokschakeling op bepaalde tijdstippen en de schemerschakeling bij bepaalde verlichtingsniveaus.

Bij de klokschakeling wordt door middel van een astronomische schakelklok ingeschakeld op van dag tot dag vooraf vastgestelde tijdstippen ten opzichte van zonsopkomst, respectievelijk uitgeschakeld ten opzichte van zonsopkomst. Bij deze schakelwijze moet enige reserve ingebouwd zijn voor het geval het sneller donker wordt, respectievelijk langer donker blijft dan gemiddeld het geval is.

Volgens de schemerschakeling wordt door middel van een foto-elektrische cel, bij vooraf ingestelde daglichtniveau's, de openbare verlichting in respectievelijk uitgeschakeld.

Er is hier geen sprake van extra inschakelreserve, omdat het lichtniveau het inschakelmoment bepaalt. Een schemerschakeling kan toegepast worden in combinatie met een sperklok. De sperklok voorkomt inschakeling op tijden, dat dit niet gewenst is.

De commissie Openbare Verlichting van de NSVV heeft in de jaren tachtig onderzocht welke schakelmethodiek, bij een verantwoord verlichtingsniveau, de minste branduren heeft. Men concludeerde dat de schemerschakeling de voorkeur verdient boven de klokschakeling.

De transmissiehulpmiddelen zijn de middelen om schakelsignalen voor de OV vanaf het besturingsmiddel te transporteren tot bij de schakeleenheden. De meest toegepaste techniek is op basis van toonfrequentie besturing.

Dit afstandsbesturingssysteem maakt in principe gebruik van het aanwezige laagspanningsnet als transportmedium om signalen te transporteren die elders door een aangesloten ontvanger gelezen worden om vervolgens de gewenste schakelhandelingen te verrichten. De werking berust op het principe dat in een hele korte tijdsbasis de sinus vorm van de netspanning volgens een vastgestelde code wordt

veranderd. Aan het signaal van het laagspanningsnet wordt dus een herkenbare code toegevoegd.

Het toonfrequentie-systeem kan grofweg in twee componenten worden opgesplitst:

- de toonfrequentie-zender;
- de toonfrequentie-ontvanger.

De zendautomaat kan een grote hoeveelheid verschillende schakelcommando's en -tijdstippen registreren en uitvoeren. De afzonderlijke commando's worden doorgeleid aan één of meerdere toonfrequentie-zenders.

De toonfrequentie-zender ontvangt van de zendautomaat de schakelcommando's en vertaalt deze commando's in specifieke impulstelegrammen, die vervolgens op de normale 50 Hz netspanning gesu-poneerd worden.

In- en uitschakeltijden

Onafhankelijk van de manier waarop de OV wordt geschakeld, moet de inbedrijfstelling op een zodanig tijdstip plaats vinden, dat het lichtniveau nooit lager is dan het niveau dat door de OV, na het verstrijken van de aanlooptijd van de lampen, wordt verschaft. Omgekeerd mag de OV pas dan worden uitgeschakeld, wanneer de bijdrage van het daglicht ten minste even groot is geworden als het door de OV verschaft lichtniveau. Bij het uitschakelen wordt dus het totale lichtniveau tot hoogstens ongeveer de helft gereduceerd.

Als aanbeveling geldt het volgende:

Voor gebieden met stedelijke bebouwing wordt de OV ingeschakeld wanneer de verlichtingssterkte in het vrije veld tot 80 lux is gedaald. Buiten de bebouwde kom wordt de verlichting ingeschakeld wanneer de verlichtingssterkte in het vrije veld tot 40 lux is gedaald. Uitschakeling voor beide situaties volgt wanneer de horizontale verlichtingssterkte tot 40 lux is toegenomen. Om pendelen te voorkomen, wordt een hysteresis gehanteerd.

De bedoelde niveaus kunnen gedurende de schemering op basis van een zogenoemde daglichtstatistiek worden vertaald in de tijdstippen na zonsondergang of voor zonsopkomst, waarop die niveaus gemiddeld worden aangetroffen.

Het verloop van het lichtniveau hangt tevens af van de aanlooptijd van de lampen en de toename van de lichtstroom tijdens die aanlooptijd. Het blijkt dat de aanlooptijd voor alle typen hogedruk gasontladinglampen 4 minuten is en voor lagedruk natriumlampen 10 minuten. Hieruit volgt dat bij een

aanlooptijd van 10 minuten een snellere afname van het lichtniveau wordt gevonden, met name kort na het inschakelmoment.

Schakelregimes

In de periode dat de verlichting is ingeschakeld, en vooral in de nachturen, neemt de verkeersdrukte sterk af. Om het energieverbruik te reduceren kan het verlichtingsniveau in deze dal-uren veelal omlaag gebracht.

In principe worden voor dit doel twee technieken gebruikt, te weten: dimmen van verlichting en gedeeltelijk doven van verlichting volgens een vaste avond- nachtverdeling.

Bij dimmen van de OV blijven alle lampen ingeschakeld. Door het toegevoerd vermogen te verlagen wordt het lichtniveau tot maximaal de helft gereduceerd. Het elektriciteitsverbruik daalt maximaal tot circa 60 a 70 procent. Het rendement van het lampsysteem neemt dus af. De levensduur van een lichtbron wordt door dimmen meestal niet verlengd. Alhoewel het lichtniveau aanmerkelijk daalt, blijft de gelijkmatigheid gehandhaafd.

Door een gedeelte van de lichtpunten in de nachtelijke uren te doven, kan men energiebesparingen en brandurenbesparingen van de lichtbronnen bereiken. Er is echter geen sprake meer van een goede visuele geleiding maar eerder van oriëntatieverlichting. Bij twee-lamps armaturen wordt er vaak voor gekozen om één lichtbron te doven en de andere lichtbron op volle sterkte te laten branden.

Het dimmen van OV verdient de voorkeur boven de toepassing van de avond/nachtverdeling. Dit vanwege de gunstigere eigenschappen ten aanzien van visuele geleiding.

Variatie van schakeltijden

De momenten waarop het verkeer in de avond/nacht afneemt en in de ochtend weer toeneemt, verschillen plaatselijk sterk. Opdat hij het niveau van de OV per locatie aan kan passen, moet de wegbeheerder over een breed aanbod van schakeltijden (brandroosters) beschikken.

Men kan stellen dat de verkeersgebruikers, die de dal-uren duidelijk beïnvloeden, als volgt in te delen zijn:

- woon/werkverkeer;
- verblijfsverkeer;
- verkeer ten gevolge van uitgangsevenen.

Tabel 11 geeft als voorbeeld de soort weggebruiker weer en de tijdstippen waarop deze aan het verkeer deelneemt.