

ENERGIEVERBRUIK IN OPENBARE VERLICHTING EN VERKEERSREGELINSTALLATIES

Eindrapport Verkeers-Regel-Installaties

A.T. Veltman
J.T. Fernhout*

*FEE

Verantwoording

In opdracht van NOVEM (opdracht nr. 149108.1030) heeft ECN een onderzoeksproject "Inventarisatie techniek en energieverbruikonderzoek voor OV en VRI's" opgestart (project nr. 7.6254). Hierin wordt energieverbruik en stand der techniek van OV (Openbare Verlichting) en VRI's (Verkeers-Regel-Installaties) in kaart gebracht, wordt onderzocht welke (alternatieve) technieken er zijn en wat de besparingspotenties zijn. Partner (subcontractant, ECN kenmerk BB-EE/MvdL/EE4032047) in het project is Adviesbureau Fernhout voor Elektrotechniek en Energie - FEE (FEE offertekenmerk 100.00.98.189). De rapportage van het project is opgesplitst in 2 rapporten:

- ECN-Rapport ECN-C--00-25:
Inventarisatie en toekomstverkenning van energieverbruik en toegepaste technieken in Openbare Verlichting en Verkeersregelinstallaties - Eindrapport Verkeers-Regel-Installaties,
- ECN- Rapport ECN-C--00-25:
Inventarisatie en toekomstverkenning van energieverbruik en toegepaste technieken in Openbare Verlichting en Verkeersregelinstallaties - Openbare Verlichting.

Abstract

In The Netherlands about 5,500 traffic junction light control systems are in operation, with a total number of about 600,000 incandescent lamps of on average about 50 W power.

The total energy consumption of these traffic junction light control systems is about 87,360 MWh/year. This corresponds to a CO₂-production of about 44 kilotons yearly.

Both numbers can be roughly halved by replacement of the incandescent lamps by LED lamps.

In a number of cities already in a reasonable number of traffic junction control systems the incandescent lamps appear to be replaced by LED lamps. The expected gain is considered to appear mainly in the maintenance costs of the systems, due to the longer life time of the LED lamps. It is expected that intermediate replacements of the lamps can be prevented, which can save a considerable amount of money. Notwithstanding the previously mentioned advantages the savings in electricity consumption can be vast, which due to the relatively low energy costs does not have a large effect on the costs.

The expected pay-back period varies from about 2 ½ year up to 11 year, depending on the type of incandescent lamps (conventional incandescent lamp bulb, halogen lamp or krypton lamp) which was in operation at the traffic junction lights.

Application in the current traffic junction light control systems will almost inevitably lead to problems in the red light detection, because the detection circuits are designed for operating on lamps with a much higher current load. In many systems however this detection circuit has been switched off, so in these cases LED lamps maybe could be applied with less difficulty. In a large number of cases however the detection circuits will have to be adapted. Application of a larger electrical (dummy) load also would be a possibility, but then there will be almost no savings.

Trefwoorden

openbare verlichting
verkeersregelinstallatie
energieverbruik
LED
lamp

INHOUD

1.	INLEIDING	5
2.	KRUISPUNTEN EN ROTONDES	6
2.1	Rotondes	6
2.2	Geregelde kruispunten	6
3.	NORMEN EN STANDAARDS	7
4.	VRI'S	9
4.1	Aantallen	9
4.2	Technische aspecten	9
4.3	Lampcontrole/beveiliging	10
5.	GLOEILAMPEN	11
5.1	Huidige Lamptypes	11
6.	LED-LAMPEN	13
6.1	Technische aspecten	13
6.2	LUMILED	14
6.3	Diverse lantaarnconcepten	15
6.4	Rijkswaterstaatconcept	16
7.	ENERGIEVERBRUIK	21
7.1	Metingen in Nederland aan 2 VRI's met en zonder LED-lantaarns	21
7.2	Schatting van het jaarlijks energieverbruik en van de CO ₂ -uitstoot	23
8.	KOSTEN	25
9.	BESPARINGEN	26
9.1	Dimmen	26
9.2	Vervangen gloeilampen door LED's	26
9.3	Vervangen VRI's door rotondes	27
10.	INTRODUCTIE- EN PROEFPROJECTEN	28
10.1	Internationale ontwikkelingen	28
11.	CONCLUSIES	29

SAMENVATTING

Nederland telt ongeveer 5.500 VerkeersRegelInstallaties (VRI's) met hierin een totaal van ongeveer 600.000 lampen van gemiddeld ongeveer 50 W.

Het totaal verbruik van de in bedrijf zijnde VRI's bedraagt ongeveer 87.360 MWh/jaar.

In termen van CO₂-uitstoot is dit ongeveer 44 Kiloton CO₂ per jaar.

Beide bedragen kunnen ongeveer worden gehalveerd door de gloeilampen te vervangen door LED's.

In een aantal steden blijkt al in een redelijk aantal VRI's (VerkeersRegelInstallaties) als proef de gloeilampen vervangen te zijn door LED-lampen. De verwachte winst hierbij ligt, vanwege de langere levensduur van de LED's, voornamelijk op het vlak van onderhoud. De verwachting is dat met name de incidentele vervanging van de gloeilamp kan worden voorkomen, wat een aanzienlijk bedrag kan uitsparen.

Afgezien hiervan is echter de besparing aan elektriciteit groot, wat door de lage energiekosten echter niet zo sterk in de prijs doorwerkt.

De verwachtingen ten aanzien van de terugverdienperiodes variëren van 2 ½ tot 11 jaar, afhankelijk van het type lantaarns en het lamptype (conventionele gloeilamp, halogeenlamp of kryptonlamp) dat op de kruising werd toegepast.

Inpassing in de huidige VRI's leidt tot problemen in de rood-lichtdetectie omdat deze in hun detectiemetingen uitgaan van lampen met een grotere stroomopname. In veel gevallen is deze detectie echter uitgeschakeld; hier zouden LED's wellicht zonder grote problemen kunnen worden toegepast. In een groot aantal gevallen zal het detectiecircuit echter dienen te worden aangepast. Een extra belasting in de LED-lamp inbouwen is ook een mogelijkheid, maar bij deze maatregel zal er nauwelijks of geen energiebesparing te zien zijn.

1. INLEIDING

NOVEM wil weten wat het energieverbruik van de verkeersregelininstallaties (VRI's) en de openbare verlichting (OV) in Nederland is, en is geïnteresseerd in de vermindering hiervan die mogelijk is. En hoewel er bij de fabrikanten en installateurs van OV en VRI's ongetwijfeld informatie aanwezig is over toegepaste technieken, energieverbruik, en kosten van OV en VRI's, is hierover bij beleidsbepalende instanties weinig bekend. Getriggerd door het op de markt verschijnen van verkeerslichten met hoog rendement (LED-lampen) en door de onbekendheid met de stand van zaken ten aanzien van OV, is aan ECN opdracht verleend om hier via gesprekken met enkele leveranciers, fabrikanten en installateurs en door middel van evaluatie van bestaande rapporten meer kennis over te vergaren en die in een rapportage weer te geven.

Dit deelrapport geeft een weergave van de situatie bij de VRI's en van mogelijke besparingen en de benodigde investeringen die hiertoe kunnen leiden. De situatie bij spoorwegen is slechts sporadisch aan bod gekomen. Hier zijn ook nauwelijks besparingen te behalen zodat spoorwegovergangen in dit onderzoek niet zijn meegenomen.

Voor de informatie- en kennisvergaring is voornamelijk gebruik gemaakt van persoonlijke enquêtes bij de instellingen die genoemd zijn in onderstaande tabel 1.1.

Tabel 1.1 Voor VRI's geraadpleegde instanties

<u>Instantie</u>	<u>Lokatie</u>
SWOV / D. Schreuder*	
Ko Hartog	Heiloo
Siemens	Den Haag
Nederland Haarlem	Haarlem
Peek Traffic	Apeldoorn
Rijkswaterstaat	
Philips Lighting	Eindhoven

* SWOV: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Aan de hand van de gesprekken met deze instanties is een schatting gemaakt van het meest waarschijnlijke aantal (en spreiding hierin) VRI's, lamptypes en vermogens.

Hieruit is onder andere een schatting afgeleid van de landelijke energieconsumptie door VRI's en hoe en hoeveel hierop valt te besparen.

In hoofdstuk 2 wordt een korte inleiding gegeven over kruispunten en rotondes waarna in hoofdstuk 3 de normen met betrekking tot VRI's aan bod komen. Hoofdstuk 4 behandelt de situatie met betrekking tot VRI's in Nederland waarna in hoofdstuk 5 en 6 een respectievelijk de gloeilampen en LED-lampen aan bod komen zoals ze in VRI's toegepast (kunnen) worden.

Hierna wordt in hoofdstuk 7 het energieverbruik van VRI's met gloeilampen respectievelijk LED's behandeld, gevolgd door een kostenbeschouwing in hoofdstuk 8 en de mogelijke besparingen in hoofdstuk 9. In hoofdstuk 10 worden een aantal proefprojecten genoemd, waarna in hoofdstuk 11 de conclusies aan bod komen.

2. KRUISPUNTEN EN ROTONDES

Er zijn in wezen drie typen van kruisingen van verkeersstromen. Dit zijn in oplopende mate van verkeerscapaciteit (zie ook tabel 2.1):

- ongeregelde kruispunten,
- rotondes,
- geregelde (met VRI's) kruispunten.

Verder kennen we nog de kruispunten met geregelde voetgangersoversteekplaatsen.

Tabel 2.1 *Capaciteiten van geregelde kruising en rotondes*

Type kruising	Capaciteit (auto's per uur)
enkelstrooks minirotonde	2100
dubbelstrooks rotonde	3500
geregelde kruising	quasi-onbeperkt

2.1 Rotondes

Voor gemiddeld verkeersaanbod voldoen rotondes redelijk; er is (bij de enkelstrooks rotonde) slechts één type 'conflict': namelijk tussen auto's die op de rotonde rijden, en auto's die de rotonde op willen rijden. Met meer stroken worden ze onveiliger zodat de capaciteit dus niet of nauwelijks is uit te breiden. Bij te groot verkeersaanbod 'loopt het verkeer vast' (een sprekend voorbeeld hiervan is het recentelijk tot rotonde omgebouwde kruispunt bij het NOB dat tijdens de spits volledig vastzit). Het is een mooie oplossing voor het 'midden-aanbod'. Een richtlijn voor de capaciteit van minirotondes is 2100 auto's per uur voor enkelstrook en 3500 auto's per uur voor dubbelstrookrotondes.

Vervanging van kruisingen door rotondes voldoet eigenlijk alleen goed indien de kruising zonder VRI ook voldoet; het wordt er alleen veiliger door.

Bij groter verkeersaanbod (vanuit één van de richtingen) zal al gauw een vorm van regeling noodzakelijk worden.

Voordelen van rotondes zijn:

- automobilisten dienen voor een rotonde af te remmen, ook tijdens rustige (nachtelijke) uren, zodat fietsers dan ook minder risico lopen,
- de wachttijd is minimaal, zodat mensen niet voor niets voor rood staan te wachten,
- veilig: plaatsing van een rotonde laat het aantal verkeersslachtoffers met 75% afnemen (ten opzichte van ongeregeld kruispunt) en met vrijliggende fietspaden neemt het aantal doden met 90% af.

2.2 Geregelde kruispunten

Nederland kent bijna 5000 geregelde kruispunten en 400 geregelde voetgangersoversteekplaatsen.

Voordelen van VRI's zijn onder andere:

- neemt minder ruimte in dan een rotonde,
- er zijn prioriteiten toe te kennen (bijvoorbeeld aan lijnbussen),
- hogere capaciteit dan rotondes.

Als nadelen gelden vaak:

- verkeersdeelnemers staan vaak stil zonder duidelijke reden,
- ze kosten energie,
- zijn duur in onderhoud.

3. NORMEN EN STANDAARDS

De Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV heeft zich verdiept in het onderwerp van de verlichting en is nu o.a. lid van de normcommissie verkeersveiligheid die de Europese Norm (EN12368) helpt opstellen voor VRI's.

Deze Europese norm staat op het punt gepubliceerd te worden, met als onderwerpen:

- gewone verkeerslichten,
- regelinstallaties,
- waarschuwingsverlichting,
- messaging signals (filevermelding etc.).

De Nederlandse wet zal aan de Europese richtlijnen worden aangepast. Doel van de Europese richtlijn is dat handelsbelemmeringen worden verminderd. Er zijn namelijk aanzienlijke verschillen tussen de diverse Europese landen; Engeland bijvoorbeeld heeft veel rotondes, en voor de plaatsen waar dan toch verkeerslichten staan geldt een hoge verlichtingssterkte. Duitsland heeft juist een lage verlichtingssterkte, en heeft een voorkeur voor een werkspanning van 42 V. Ook de kleuren zijn van land tot land (in nuance) verschillend. De Europese norm speelt hierop in door verschillende klassen te formuleren waar de nationale wetgeving dan weer uit kan selecteren. Nederland wil als nieuwe richtlijn hanteren dat er een reinigingsfrequentie wordt voorgeschreven.

De Europese norm is vrij precies wat betreft de kleurgebieden. Oranje gaat wat meer naar geel en groen gaat wat meer naar blauw vergeleken met de huidige Nederlandse norm. De keuze van de lamp is buiten de norm gehouden. In de VRI-wereld worden de gloeilamp, de halogeenlamp, de kryptonlamp en sinds kort LED's toegepast. LED's zijn het zuinigst, en in de VS zijn in sommige plaatsen alle rode lichten al met LED's uitgevoerd. Het lijkt er op dat er niet één standaard type LED verlichting te ontwikkelen is die binnen de Nederlandse en de Europese norm valt. De groene kleur bijvoorbeeld was tot voor kort een probleem voor wat betreft de toepassing van LED's. De armaturen met drie lampen boven elkaar blijven in de Europese richtlijn gehandhaafd, omdat dit voor kleurenblinden een extra onderscheid biedt. De Scandinavische normen zijn iets soepeler dan die in de rest van Europa.

Tabel 3.1 *Normen en aanwijzingen die van toepassing zijn of worden*

Onderwerp	Gebied	Nederland	Europa
Veiligheid	Waarschuwinglichten		CEN 12352
Armaturen	kleur, lichtopbrengst	NEN 3322	CEN 12368
Regel- en bewakingstoestellen	techniek, veiligheid	NEN 3384	
Elektrische lichtbronnen	Standaardbestek	Ontwerp standaardbestek 240-II, hoofdstuk 8	

Er is al minstens één Nederlandse fabrikant waarvan de lantaarns (naar eigen zeggen) al voldoen aan de norm EN 12368 die in januari 2000 van kracht is geworden, en aan NEN 3322 die halverwege 2000 van kracht wordt. Een CEN-norm is in de maak.

In de Nederlandse norm worden enkele klassen onderscheiden. In de hoogste klasse geldt als eis voor de lichtuitstraling 400 Cd (in plaats van vroeger 300 Cd). Dit schijnt niet eenvoudig met gloeilampen te kunnen worden gerealiseerd. Sommige nieuwe (LED) lantaarns stralen 460 Cd uit; door veroudering van de lamp en door vervuiling kan dit dan tijdens de levensduur afnemen tot 400 Cd.

In Nederland dient ongeveer 90% van de VRI's met roodbeveiliging te zijn uitgerust. Sommige fabrikanten halen een speciale truc uit waardoor dit bij hun LED's werkt en waardoor ze voldoen aan de klasse I van de norm.

Om een houvast te bieden aan de VRI-leveranciers en om ongewenste situaties en oneigenlijke concurrentie te voorkomen (import van goedkope en 'minderwaardige' lantaarns die niet aan de kwaliteitsnormen voldoen die de Nederlandse lantaarnbouwers zichzelf opleggen), zou het aan te bevelen zijn om de gewenste specificaties meer uitgewerkt in normen onder te brengen. Ook kan het handig zijn een zogenaamde 'contrast ratio' ten opzichte van het omgevingslicht in te voeren. Dit naar analogie van de verkeerssignaleringsystemen, waardoor duidelijk wordt tot hoever een lamp gedimd mag worden.

Een vertragende factor bij de introductie, is dat er (in Nederland) nog geen standaardisatie op het gebied van failure-mode-communicatie bestaat. In Californië bijvoorbeeld is dat er wel, opgelegd door CalTrans. Californië is/wordt dan ook helemaal 'volgebouwd' met LED's. De Nederlandse industrie werkt onderling samen aan de standaardisatie vanuit NEC214, ASTRIN, KEMA en Rijkswaterstaat-Maritiem.

De ASTRIN-werkgroep voor standaardisatie heeft een verhandeling met betrekking tot diverse LED-aspecten geschreven. De huidige signaalgeverfabrikanten lijken soms de expertise te missen om met een goede oplossing te komen die wordt afgedekt door veiligheidsspecificaties. Normaliter volgt Rijkswaterstaat (RWS) de standaarden die voor VRI's gelden, maar er zijn momenteel geen standaards die voldoen voor toepassing van Led-seinlampen in verband met de speciale omstandigheden en wensen (onder andere ten aanzien van waterdichtheid). De bouw dienst is daarom bezig zelf een standaard te formuleren voor het toepassen van LED's in seinlampen.

Bij VRI's is dit vanuit de afnemer niet goed mogelijk omdat het hier gaat om veel kleine beheerders die vaak de nodige expertise missen. Zo is de situatie ontstaan dat de individuele leveranciers hun eigen standaarden hanteren, en zo een éénmaal gewonnen klant aan zich weten te binden. Een uniforme standaard is daarom ook niet echt in het belang van deze leveranciers, daar een klant dan vrij is om een lamp willekeurig daar te kopen waar hij het goedkoopst is, mits hij maar aan de standaard voldoet. De grootste producent kan dan het goedkoopst de lamp maken en de markt in handen krijgen.

Voor de leveranciers van VRI's is ombouwen met 'specials' dan ook gunstiger dan het invoeren van een standaard.

Momenteel is in naar schatting de helft van de VRI's de roodlichtbeveiliging bewust uitgeschakeld omdat anders bij iedere storing de installatie automatisch wordt uitgeschakeld; wat resulteert in files. Vaak is ze ook niet ingebouwd, hoewel dit wel verplicht is.

Verder is de VRI erg gevoelig voor storingen die optreden in de contacten. Ieder contactpunt levert dan ook een eigen (negatieve) bijdrage aan de storingsgevoeligheid.

Per 1 januari 2000 wordt de toegestane faalkans van een VRI eens in de 10^5 jaar. Dit betekent dat eens in de 100.000 jaar op het kruispunt groen gegeven mag worden terwijl voor de kruisende richting geen rood licht brandt. Hieruit is afgeleid dat eens in de 1.000.000 jaar de rode lamp mag falen door ten onrechte aan te geven dat hij brandt terwijl dit niet het geval is.

Dit is eigenlijk alleen maar goed te specificeren en de certificeren wanneer de faalkans van de lamp onafhankelijk van de omgevingsomstandigheden wordt gemaakt, of wanneer de omgevingsomstandigheden gegarandeerd binnen bepaalde marges (waarvoor de faalkans van de lamp is gespecificeerd) kunnen worden gehouden. RWS heeft hier bepaalde ideeën over die in hoofdstuk 6 verder worden toegelicht.

Wil een lamp goed gecertificeerd kunnen worden, dan moeten de omgevingsomstandigheden dus ontkoppeld kunnen worden. Dit kan betekenen dat de lamp gecertificeerd wordt voor alle omstandigheden die kunnen voorkomen. Een lamp die tot 100 °C is gecertificeerd, maar in een lantaarn wordt geplaatst die warmer dan 100 °C kan worden, voldoet dan in feite niet. (Deze situatie lijkt regelmatig voor te komen.)

Als lampen in combinatie met slagbomen worden gebruikt is de rood-lichtbeveiliging heel belangrijk. De slagboom mag pas neer als duidelijk is dat de lamp ook echt brandt.

4. VRI'S

4.1 Aantallen

Er is geen allesbevattend overzicht van het totaal aantal VRI-lichtpunten in Nederland. Schattingen lopen uiteen van 4000 tot 8000, met waarschijnlijk de meest nauwkeurige die van de ANWB: bijna 5000 geregelde kruispunten, en 400 geregelde voetgangersoversteekplaatsen.

We gaan verder uit van 5.500 VRI's (Verkeers-Regel-Installaties), met gemiddeld 12 signaalgroepen per VRI. Een 'signaalgroep' is een groep van verkeerslichten dat één verkeerscategorie regelt (bijvoorbeeld het rechtsafslaand verkeer op één hoek van een kruispunt, of het in één richting rechtdoorgaande verkeer op een kruispunt) en bevat een aantal 'signaalgevers' (gemiddeld 3) of ook wel lantaarns of verkeerslichten genoemd. Voor voetgangers bevat de signaalgever meestal 2 lampen (waarvan er altijd één of geen brandt) en voor het overige verkeer 3 lampen. Het 'gemiddelde' kruispunt telt ongeveer $3 * 3 * 12 = 108$ lampen waarvan ruwweg altijd één derde deel, dus 36, brandt.

Per gemeente kan het aantal VRI's genormeerd op het aantal inwoners sterk uiteen lopen. In Eindhoven bijvoorbeeld staan 200 VRI's opgesteld en in Amsterdam 300. Als we de aantallen inwoners als maat zouden nemen zou dit aantal voor Amsterdam veel hoger moeten zijn. Rijkswaterstaat en de provincies hebben ongeveer samen 800 VRI's in beheer. Het aantal VRI's dat door de Waterschappen wordt beheerd is praktisch te verwaarlozen. Er zijn nu 538 gemeentes (CBS).

Het aantal VRI's in Nederland neemt momenteel nog steeds lichtjes toe.

Per jaar is er ongeveer 1% à 2% groei in het aantal VRI's. Het is grotendeels (99%) een vervangingsmarkt en de innovatiegraad is laag doordat de levensduur zo hoog is (15 jaar). Ook omdat in de (grotendeels vervangings-) markt liefst de bestaande bekabeling moet worden gebruikt, is innovatie met uitgebreide communicatiepaden niet makkelijk mogelijk.

4.2 Technische aspecten

Verkeerslantaarns hebben een praktische levensduur van ongeveer 15 à 20 jaar, maar het komt ook voor dat lantaarns 25 tot 30 jaar worden gebruikt.

Een nieuwe type lamp is de LED-lantaarn. Hierin zijn LED's (Light Emitting Diodes) verwerkt die met een hoger rendement en een langere levensduur een aantrekkelijk alternatief voor de tot nu toe gebruikte gloeilampen vormen.

Enkele aspecten die van belang zijn bij verkeerslichten:

- Fantoomeffect Het fantoomeffect wordt veroorzaakt door een reflectie van zonlicht in de reflector die in het verkeerslicht achter de lamp is geplaatst en waarbij het licht, gefilterd door het gekleurde glas uittreedt, gedeeltelijk in de richting van de verkeersdeelnemer. Hierdoor kan de indruk ontstaan dat het aangestraalde verkeerslicht brandt, terwijl dat in feite niet het geval is.
- Vervuiling De vervuiling van de lenzen neemt in de loop der tijd toe tot ongeveer 20% van het uitgestraalde licht wordt geabsorbeerd. Hierna lijkt ze niet meer toe te nemen.
- Temperatuur Bij fel zonlicht kan het binnengedeelte van de zwarte lantaarn opwarmen tot soms boven de 100° C.

4.3 Lampcontrole/beveiliging

Uiteraard staat of valt de veiligheid van een geregelde kruising met de integriteit van de signalering.

Een aantal storingen die kunnen optreden zijn:

1. groen of geel brandt niet terwijl dit zou moeten,
2. groen brandt terwijl voor de kruisende richting geen rood licht brandt.

Geval 1. is niet ernstig, in het ergste geval zal het verkeer in de richting van het falende licht ten onrechte tot stilstand komen, wat tot congestie kan leiden.

In geval 2. is de situatie ernstiger, omdat hier het verkeer in de richting van de falende lamp ten onrechte kan doorrijden, dus terwijl het kruisende verkeer groen licht heeft.

In het geval dat de rode lamp stuk is, zullen de verkeersdeelnemers sowieso gealarmeerd zijn en tijdens het oversteken alert zijn op kruisend verkeer. De meest ernstige storing is die waarbij het groene licht voor twee kruisende verkeersstromen tegelijk brandt.

Voor storingsgeval 2. geldt dan ook per 1 januari 2000 een toegestane faalkans van eens in de 10^5 jaar. Dit betekent dat op een kruispunt eens in de 100.000 jaar groen licht gegeven mag worden terwijl voor de kruisende richting geen rood licht brandt.

Voor de detectie van storingsgeval 1. wordt vaak de spanning over de groene en gele lampen gemeten. Het hoeft echter niet zo te zijn dat de lamp ook werkelijk brandt als er spanning is. Omdat geval 1. echter niet ernstig is, wordt vaak volstaan met een (elektronische) melding aan de VRI-beheerder als er geen spanning wordt gemeten waar die er wel diende te zijn. Soms wordt ook de installatie (automatisch) op knipperen gezet, hoewel hiervan met het oog op congestie vaak wordt afgezien.

Voor de detectie van storingsgeval 2. wordt vaak de stroom door de rode lampen gemeten. Is de stroom nul, dan brandt de rode lamp niet; is de stroom niet nul, dan brandt hij met zeer grote mate van waarschijnlijkheid wel. Deze stroommeting vindt plaats in de schakelkast en meet mede de (blind-) stroom die door de transformator in de lantaarn gevraagd wordt.

Volgens de regels zou bij een defecte rode lamp de installatie moeten worden uitgeschakeld, of tenminste op knipperen moeten worden gezet om ongelukken te voorkomen. Om congestie te voorkomen is deze modus echter in de minderheid (waarschijnlijk minder dan 40%) van de gevallen ingeschakeld.

Bij vervanging van gloeilampen door LED's is de zogenaamde 'roodlichtdetectie' een probleem omdat het stroomverbruik van een LED-lamp vele malen kleiner is dan van een gloeilamp. Een enkele leverancier gebruikt een speciale methode om het vermogen van de lamp groter te laten lijken dan hij in werkelijkheid is.

5. GLOEILAMPEN

5.1 Huidige Lamptypes

Tot nu toe werden in Nederland 3 verschillende lamptypes in de VRI's toegepast, namelijk

- conventionele gloeilampen ('peertjes'),
- halogeenlampen,
- kryptonlampen.

De verhouding ligt momenteel op ongeveer 1:1:1 voor de diverse lampen.

5.1.1 Conventionele gloeilampen

Uitvoering

Deze lampen worden vaak zonder transformator bedreven bij 230 V en variëren in vermogen van 40 W à 60 W voor voetgangersoversteekplaatsen (200 mm lensdiameter) via 100 W voor driekleurige lantaarns tot 150 W in de hoge straatoverspannende verkeersportalen (300 mm lensdiameter).

Als gemiddeld gloeilampvermogen kan 80 W worden aangehouden.

Kosten

Een gloeilamp kost ongeveer NFL 5,= (2,25 Euro).

Levensduur

Sommige gemeenten / wegbeheerders hanteren een vervangingstermijn voor gloeilampen van 4 maanden voor rood, 8 maanden voor geel/groen. Normaal lijkt echter een reguliere (vervangings-) levensduur / van een half jaar. Hierbij wordt ook wel gerekend met een incidentele tussentijdse wissel van 1 maal per 5 jaar (voor rood en geel). De technische levensduur van een conventionele standaardgloeilamp is ongeveer 3.000 uur.

10 jaar geleden is al begonnen met het toepassen van halogeen- en kryptonlampen in plaats van gloeilampen. Het grootste aandeel van de VRI's is de afgelopen 10 jaar geplaatst.

5.1.2 Halogeenlampen

Uitvoering

Deze lampen worden voornamelijk met een transformator (standaard ijzeren E-kern) bedreven bij 10 V of 42 V en hebben een vermogen van 35 W, 50 W of 67 W. Halogeenlampen bevatten een gas (een halogeen) dat bij voldoende verhitting voorkomt dat metaaldeeltjes die van de gloeidraad verdampen op het koude glas neerslaan, maar ervoor zorgen dat ze terugkeren op de gloeidraad. Dimmen kan hierdoor alleen bij speciaal hiervoor ontworpen lampen omdat standaard halogeenlampen in gedimde toestand te koud zouden worden, waardoor alsnog metaal op het glas zou neerslaan.

Kosten

Een halogeenlamp kost ongeveer NFL 25,= (11 Euro).

Levensduur

Sommige partijen vervangen halogeenlampen op incidentele basis (lampwissel eens per 10 jaar voor rood en geel), anderen hanteren een reguliere vervangingslevensduur van 2 maal per jaar. De 10 V lampen hebben een technische levensduur van ongeveer 6.000 à 9.000 jaar, de 42 V lampen gaan daarentegen ongeveer 4.000 uur mee.

5.1.3 Kryptonlampen

Uitvoering

Deze lampen worden voornamelijk met een transformator (standaard ijzeren E-kern voor groen en geel, ijzeren ringkern voor rood) bedreven bij 40 V en hebben een vermogen van 20 W à 30 W.

Kosten

Een kryptonlamp (40 W) kost ongeveer NFL 21,= (9,5 Euro).

Levensduur

De normale vervangingslevensduur lijkt ongeveer 1 à 1 ½ jaar te zijn met een incidentele lampwissel eens per 10 jaar voor rood en geel.

6. LED-LAMPEN

Met het voortschrijden der techniek komen er LED's (Light Emitting Diodes) op de markt met steeds grotere lichtopbrengsten en met spectrale dichtheden die geschikt zijn voor toepassing in VRI's. Aangezien rendement én levensduur van LED's aanzienlijk groter zijn dan we van gloeilampen gewend zijn, vormen lampen op basis van LED's in principe een aantrekkelijk alternatief voor gebruik in VRI's.

- Voordelen: laag energieverbruik, lange levensduur
- Nadelen: Moeilijk op de goede kleur te krijgen, nog slechts in relatief lage lichtopbrengsten te krijgen, moeilijk productieproces, vocht tijdens productie.

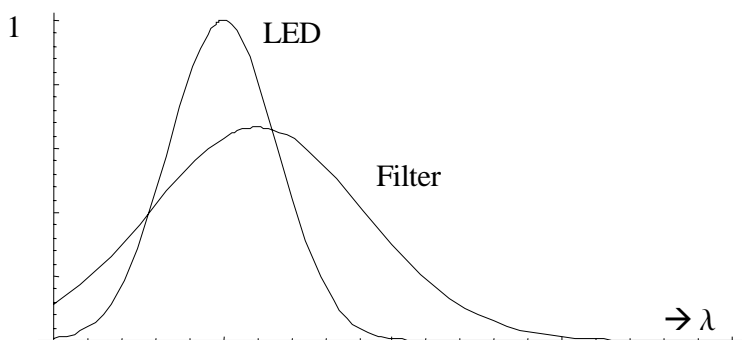
6.1 Technische aspecten

De LumiLED-lampen van Philips/Hewlett-Packard zijn uitgerust met kunststof ongekleurde transparante lenzen die geen energie verliezen.

Siemens' 'Barracuda'-LEDs geven 10 à 15 maal zoveel licht als een gewone LED. Is oorspronkelijk van Hewlett-Packard. Siemens betreft ongeveer de helft van haar lamp van Hewlett-Packard.

6.1.1 Spectrale gevoeligheid en filtering

Hoewel er LED's zijn die in principe de geschikte kleur uitstralen voor gebruik in VRI's, kunnen de bestaande gekleurde lenzen toch een aanzienlijke absorptie veroorzaken. Dit komt door de uitspreiding van het uitgestraalde spectrum over het golflengtegebied in combinatie met de spreiding van de absorptiecoëfficiënt van het filter. Dit verschijnsel kan leiden tot een absorptie tot 50% van het uitgestraalde licht. Zie onderstaande figuur 6.1 met hierin ter illustratie een willekeurig spectrum voor de LED's en een willekeurig bijbehorend filter. Bij voorkeur dient dus van het filter te worden afgezien.



Figuur 6.1: Illustratie van absorptie van het licht uit een LED door een bijbehorend filter.

6.1.2 Temperatuurafhankelijkheid

De lichtopbrengst van LED's is tamelijk temperatuurgevoelig. In lantaarns waar de temperatuur tot 90° C kan oplopen, loopt de lichtopbrengst (bij constante voeding) met ongeveer 50% af. Bij vrieskou moet de LED gedimd worden om verblinding te voorkomen. Dit vraagt sowieso om elektronica in de lamp waarmee deze gedimd danwel 'opgedraaid' kan worden.

Omgevingsaspecten

Zoals genoemd zijn LED's erg gevoelig voor temperatuursinvloeden. Lantaarns zijn zwart en gesloten; de temperatuur in de lantaarns kan dan ook soms tot boven de 90°C stijgen, hoewel

officiële onderzoeken een maximale temperatuur van 75°C noemen. Het van buitenaf ingestraalde vermogen kan gemakkelijk 100 W tot 200 W bedragen. De interne warmtelast die veroorzaakt wordt door de LED's en de elektronica moet afgevoerd worden, anders loopt de temperatuur te hoog op. (Uit ervaringen met lantaarns met gloeilampen erin blijkt de temperatuur van de lens te kunnen oplopen tot 90° C.) LED's zijn dermate gevoelig dat bij dergelijke hoge temperaturen de stroom met tot 50% moet worden opgevoerd om dezelfde lichtopbrengst te krijgen als bij kamertemperatuur. Bij vriezen moet de LED aanzienlijk gedimd worden om een te hoge lichtopbrengst te voorkomen. Wil een lamp goed gecertificeerd kunnen worden, moeten de omgevingsomstandigheden dus ontkoppeld kunnen worden. Dit kan betekenen dat de lamp gecertificeerd wordt voor alle omstandigheden die kunnen voorkomen. Een lamp die tot 100 °C is gecertificeerd, maar in een lantaarn wordt geplaatst die warmer dan 100 °C kan worden, voldoet in feite niet.

6.1.3 Betrouwbaarheid

Indien LED's worden toegepast wordt de regelelektronica belangrijker voor wat betreft de slijtage dan de LED zelf.

6.1.4 Roodlicht-detectie

Er zijn nog problemen met het stroom/spanning-gedrag. Als alleen stroom- of vermogens-indicatie wordt toegepast, kan het aanwezig zijn van stroom ook inhouden dat de elektronica stuk is en dat de lamp juist **niet** brandt. Er moet communicatie komen om eenduidig duidelijk te maken of de lamp wel of niet brandt. Over het algemeen neemt het aantal failure modes dat moet worden afgedekt dus sterk toe.

6.2 LUMILED

Voor grotere lichtsterktes is de LUMILED ontwikkeld, 16 LED's op één chip. Deze lijkt gevoelig voor statische elektriciteit en voor zelf gegenereerde hitte.

6.2.1 Introductiemogelijkheden

Introductie van deze lampen kan op twee manieren plaatsvinden:

- introductie door vervanging van bestaande gloeilampen door LED's,
- introductie door nieuwbouw of bij vervanging van een bestaande installatie na het einde van de gebruiksduur (10 à 20 jaar).

Tijdens regulier onderhoud kan ervoor gekozen worden om op een kruispunt de gloeilampen in de VRI te vervangen door LED-lampen. Het lijkt aantrekkelijk om dan slechts de gloeilamp (en de reflector) eruit te halen en er een LED-lamp voor in de plaats te stoppen. Dit heeft echter twee nadelen:

- Het kleurenfilter blijft dan aanwezig en zorgt, ook al heeft de LED de 'juiste' kleur, voor een reductie van ongeveer 40% à 50 % in het uitgestraalde licht.
- De kans is groot dat de rood-licht detectie (indien die al in bedrijf was) door de lagere stroomconsumptie 'in de war' raakt doordat hij niet meer kan onderscheiden tussen uitgeschakelde lamp of brandende LED-lamp. Ook bij het falen van een aantal LED's in de lamp zal de beveiliging hierop niet kunnen aanspringen.
- Door de hoge temperaturen in het binnendeel van de lantaarn kan de lichtopbrengst van de LED's sterk verminderen.

Zoals boven genoemd kunnen gloeilampen niet altijd zomaar door LED's worden vervangen, de VRI kan namelijk 'in de war' raken; in die zin dat de lamp zo weinig stroom gebruikt dat de rood-licht detectie denkt dat de lamp stuk is. In Stockholm bijvoorbeeld worden op grote schaal de gloeilampen in de VRI's vervangen door LED's, waarbij de roodlicht-detectie wordt uitgeschakeld en een aantal failure modes dan ook niet meer wordt afgedekt.

Bij nieuwbouw van VRI's kan door de vrij te kiezen bekabeling beter worden voldaan aan de specifieke eisen die door de LED-lantaarns worden gesteld.

Een moeilijk punt voor sommige gemeentes is de eis van roodstroomcontrole. Door de invoering van LED's neemt de roodstroom zover af dat dit tot problemen in de detectie leidt. De beveiligingskaart moet dan dus worden uitgewisseld, hetgeen tot aanzienlijke kostenverhoging leidt. Meer dan de helft van de gemeentes lijkt momenteel geen roodstroombeveiliging geactiveerd te hebben.

Er zijn nog problemen met het stroom/spanning-gedrag. De VRI's met LED's erin kunnen (nog) niet aantoonbaar veilig functioneren onder alle omstandigheden (failure modes). Mede daarom worden LED's in Nederland nog niet op grote schaal toegepast. Voor het dimmen bijvoorbeeld moet er elektronica in de signaalgever komen, en moet er communicatie komen om éénduidig duidelijk te maken of de lamp wel of niet brandt. Als alleen stroom- of vermogensindicatie wordt toegepast, kan het aanwezig zijn van stroom ook inhouden dat de elektronica stuk is en dat de lamp juist **niet** brandt. Het aantal failure modes dat moet worden afgedekt neemt dus sterk toe.

In Stockholm wordt na de introductie van LED-lampen een aantal failure modes niet afgedekt. Bij hybride systemen (combinaties LED's / gloeilampen) moet gelet worden op verschillen tussen de inschakel- en nagloeitijden tussen de gloeilampen en de LED's

6.3 Diverse lantaarnconcepten

Momenteel is een aantal concepten in ontwikkeling c.q. in gebruik die hieronder de revue zullen passeren.

6.3.1 Ko Hartog Verkeerstechniek

De LED-lampen van Ko Hartog zijn ontwikkeld voor 1-op-1-ervanging van gloeilampen. Ze bestaan uit een fitting, met daarop gemonteerd een houder met LED's. De LED's worden per groep van spanning voorzien. Als één groep uitvalt, zal een groot aantal LED's (die van de andere groepen) blijven branden.

De MTBF (Mean Time Between Failure) is berekend op 12.8 jaar.

Het opgenomen vermogen varieert van 3 W voor een onderlamp tot 14 W voor een lamp met 300 mm lens. Geclaimd wordt dat ze aan de NEN3322 norm voldoen.

6.3.2 Siemens

Er zijn 2 versies voor de LED-lampen. De eerste versie bevat 300 LED's per lamp. Hierbij is vooral groen een probleem. De tweede versie, een nieuw armatuur dat binnenkort op de markt komt, bevat 16 LED's, een kleine reflector, een diffuser en een gekleurde lens. De diffuser voorkomt fantomeffecten en voor de groene kleur worden HP 'true-green' LED's gebruikt.

Siemens levert ombouwmodules voor ombouw van 220 V (230 V) naar krypton- of naar LED-lampen en voor ombouw van krypton- naar LED-lampen.

De producten (uit eigen productie) zijn vanaf oktober leverbaar.

Het verbruik van de LED-lampen is nog enigszins onduidelijk omdat er verschillende getallen zijn genoemd:

1. "5 W - 8 W bij LED's"
2. "Siemens LED's: 10 W - 15 W per lamp"
3. "20 W / LED minimaal (LED + trafo + kabel)"

Ook het verbruik van de transformatoren is niet geheel duidelijk (zie verder).

Een probleem bij de toepassing van LED-armaturen in bestaande VRI's is dat in veel installaties een detectie dient plaats te vinden of het rode licht ook werkelijk brandt. Dit gebeurt op basis van meting van de stroom door de rode lamp. Als de stroom onder een bepaald niveau is gedaald wordt er 'alarm' geslagen en kan de onderhoudsploeg de kapotte lamp opsporen en vervangen. Bij vervanging door een stroombesparende lamp zal de detectieschakeling bij een kapot rood licht slechts de magnetiseringsstroom van de transformator meten. Een functionerend rood licht trekt echter zó weinig stroom dat deze toename soms nauwelijks wordt gedetecteerd. Om deze reden past Siemens bij de krypton rode lichten en bij de LED-lampen

een ringkerntransformator met lage (magnetiserings-) stroom waardoor de lampstroom een aanzienlijk (relatief) aandeel in de totale gemeten stroom heeft.

Geel/groen-bewaking gebruikt spanningsmeting.

6.3.3 Nederland Haarlem

De Nederland Haarlem lantaarns voldoen al aan de norm EN 12368 die sinds januari 2000 van kracht is, en aan NEN 3322 die halverwege 2000 van kracht wordt. Een CEN-norm is in de maak.

In de Nederlandse normklasse 1 wordt de minimale lichtuitstraling opgeschroefd van 300 Cd naar 400 Cd. Dit kan niet met gloeilampen worden gerealiseerd. Enkele nieuwe (LED) lantaarns stralen dan ook 460 Cd uit. Door veroudering van de lamp en door vervuiling kan dit dan tijdens de levensduur afnemen tot 400 Cd.

In Nederland dient ongeveer 90% van de VRI's met roodbeveiliging te zijn uitgerust. Door een speciale truc werkt dit bij Nederland Haarlem voor de LED's waardoor ze voldoen aan de klasse I van de norm (Hartog niet).

In de modules van Nederland Haarlem zitten 300 LED's die in (ongeveer 38) groepen van acht willekeurig over het oppervlak zijn verdeeld. Bij uitval van een groep zal dit dus niet opvallen daar de LED's per groep niet geclusterd zijn. Bij zodanig uitval dat op basis van de 460 Cd (bij alle LED's in bedrijf) het uitgestraalde licht nog 390 Cd zou bedragen, wordt dit via de stroommeting gedetecteerd en wordt afgeschakeld en 'alarm' gegeven.

Er wordt 5 jaar garantie gegeven op een module.

Bij het ontwikkelen van de LED-lantaarn speelden de volgende overwegingen een rol:

- De Nederlands norm met betrekking tot de luminantie wordt verhoogd van 300 naar 400 Candela.
- Men wil over het algemeen bestaande VRI's ombouwen en niet vervangen.
- Een trafo kost vermogen (7 - 12 W voor EI-trafo's).
- Huidige kleurlenzen dissiperen 40% à 50% van het licht. Een LED-lamp met gekleurde lens verliest 'dus' ook nog 40% à 50%.
- De vraag wanneer een LED-lamp juridisch stuk is.
- Gekleurde lenzen geven eerder problemen door het fantoomeffect.

Nederland Haarlem gaat daarom een heldere lens toepassen, en gebruikt de bestaande trafo's (voor de kryptonlampen). Bij de ontwikkeling speelt ook de vraag waar de balans ligt tussen 220 V toepassen (1 of 2 strings met LED's) en of je een trafo wil.

Het is nog niet goed duidelijk met welke dimspanningen gewerkt kan/moet worden.

Tot 30% dimmen is met het oog nauwelijks zichtbaar.

6.3.4 Peek Traffic

Peek Traffic levert LED-lantaarns die door Groenpol worden aangeleverd. Ook hier varieert het vermogen van ongeveer 10 W (grote gevers) tot 3 W à 5 W (voetgangerslichten).

De toegepaste LED's zijn van onbekend fabrikaat.

6.4 Rijkswaterstaatconcept

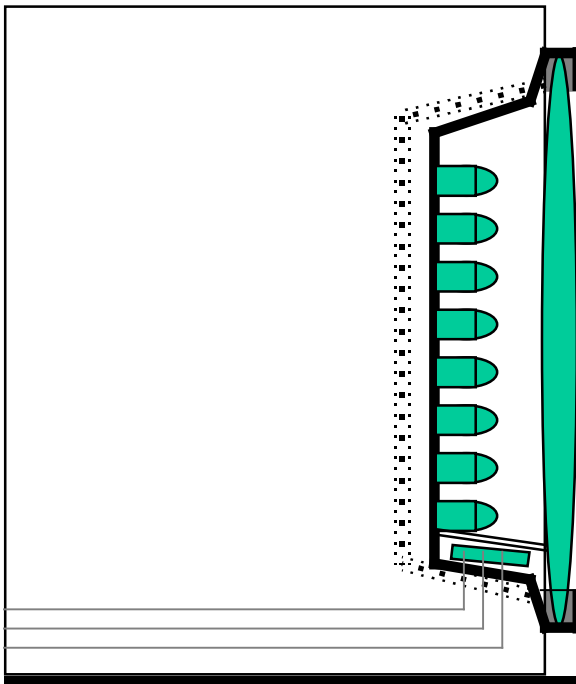
6.4.1 Eigen ideeën en toekomstige eisen vanwege de bouwdienst van RWS

Er zijn vier factoren die een grote rol spelen:

1. betrouwbaarheid,
2. certificeerbaarheid,
3. mogelijkheden tot eenvoudige retrofit,
4. te voorzien van een coating op de lens.

Voor een eenvoudige retrofit zou het heel simpel zijn om de vervanging te kunnen beperken tot de lens, die tóch moet worden vervangen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de LED-lamp te integreren met de lens. Als hierbij de lamp 'van achteren' geïsoleerd wordt en de interne

warmteontwikkeling door middel van een koelplaat in de vorm van een aluminium ‘pannetje’ - dat aan de voorkant met een water- en luchtdichte afsluiting om de lensrand is gefelst - naar de lens wordt afgevoerd, is de lamp degelijk, neemt nauwelijks warmte op vanuit de lantaarn en kan zijn eigen warmte van voren kwijt door de lens. Zie figuur 6.2.



Figuur 6.2: Een conceptlamp in een lantaarn (figuur: Rijkswaterstaat, W. Zandvliet)

Voordelen van een gesloten systeem zijn:

- stofdicht,
- lamp kan zonder lantaarn gebruikt worden,
- kwaliteitscontrole eenvoudiger,
- de lamp kan ontworpen worden op een maximale binnentemperatuur,
- de isolatie biedt bescherming tegen elektrische storingen,
- om de binnentemperatuur zoveel mogelijk te beperken wordt de fabrikant ‘gedwongen’ tot een zo laag mogelijk energieverbruik,
- de lamp zelf is nauwelijks repareerbaar, zodat een lamp die stuk is, ook écht stuk is, dus geen kansen op ‘gebruikt’ met lagere betrouwbaarheid dan door de certificering gesuggereerd.

De lens dient van glas te zijn; dit heeft namelijk de volgende mogelijkheden:

- goede warmtegeleiding naar voren toe,
- eenvoudig te coaten,
- lange levensduur,
- recycleerbaar.

De volgende coatings zouden kunnen worden gekozen:

- hardheidscoating,
- anti-reflectiecoating,
- TFE coating om de lens schoon te houden,
- coating voor afscherming tegen EM-velden.

Omdat de lensdiameter zo’n beetje het enige is dat gestandaardiseerd is, is vervanging van de gekleurde lens door een geïntegreerde unit (met transparante lens) de eenvoudigste oplossing. Om het aantal contactovergangen te beperken moet de lamp dan niet met een fitting worden voorzien, maar met de draden (afknippen van de bestaande fitting) direct worden aangesloten. Volgens Rijkswaterstaat zal de Edisondraad (schroeffitting) zoals door Ko Hartog gekozen, de storingsgevoeligheid door lostrillen, thermisch werken en oxidatie verhogen.

6.4.2 Toekomstoverwegingen

De lamp dient (goed) dimbaar te zijn en moet kunnen werken binnen een grote range van voedingsspanningen. Er wordt gedacht aan een 'norm'-spanning van 48 V gelijkspanning, met een range van 24 V - 60 V. De ruime marge dient om kabelverliezen op te kunnen vangen, en om inbouw in bestaande situaties te vergemakkelijken. Ook het toepassen van zonnecellen wordt hiermee eenvoudig mogelijk. De elektronica bevindt zich in de lamp en om EMC-problemen te vermijden dient er een coating op het glas te komen (hierover vindt al overleg plaats met Scott). Voor het dimmen en de rood-lichtbeveiliging dient er dan communicatie tussen de VRI en de lamp plaats te vinden. Bij voorkeur via de voedingslijnen (vergelijk de babyfoon waarbij het signaal via het elektriciteitsnet van de zender naar de ontvanger wordt gestuurd, of het internet via het elektriciteitsnet) maar dan middels een betrouwbaar communicatieprotocol dat foutinformatie voorkomt door middel van een goed uitgedachte redundante codering en foutcorrectie, waarbij gedacht kan worden aan het (reeds bestaande) CAN-protocol. Ook kan gedacht worden aan draadloze communicatie of communicatie via een glasvezel.

De lampen moeten aangestuurd kunnen worden met alle moderne communicatie middelen. Dat betekent wel dat voor de lamp een interface geplaatst moet worden die de signalen omzet in het afgesproken dataprotoocol dat elektrisch naar de lamp wordt verstuurd. Zie bijlage.

Bij foutsituaties (in de voeding, dimmer of LED's zelf) dient de lamp uit te schakelen of de fout te signaleren en communiceren.

De lamp moet ook in de toekomst goed bruikbaar zijn, ook al wordt hij bij aanschaf hierdoor misschien een fractie duurder. Als hij minstens drie keer zo goed presteert wordt dit tóch aanvaardbaar. De ontwikkelingskosten van een goede lampbewaking kunnen beter drukken op de Led-seinlamp dan op de installatie. Omdat er veel meer lampen verkocht worden dan installaties is de terugverdientijd van de lamp veel kleiner.

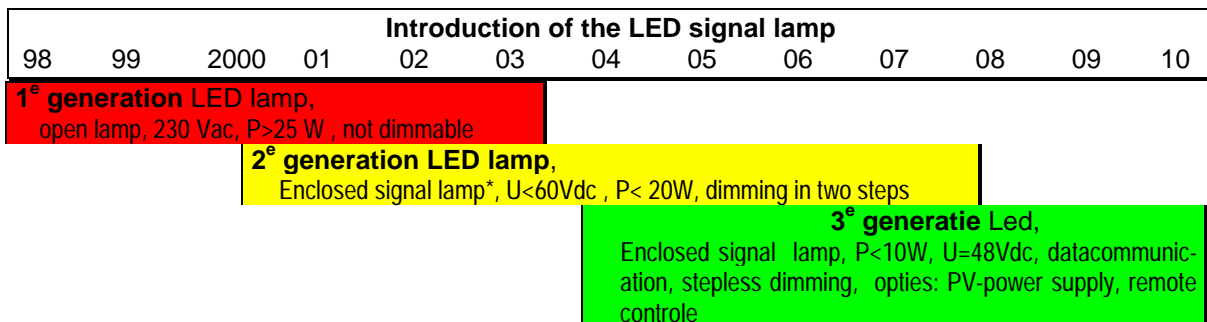
Verder wordt er gedacht aan een programmeerbaar lichtbeeld, zoals een rood kruis dat aangeeft dat een bepaalde rijstrook is afgesloten (bij een ongeval of iets dergelijks) zodat de weggebruikers weten dat de rijstrook niet beschikbaar is (in tegenstelling tot bij gewoon rood licht, waar gewoon gewacht wordt tot het weer groen wordt) zodat er geen of minder gauw files zullen ontstaan.

Ook kan worden gedacht aan een pijl, die aangeeft dat slechts één bepaalde richting beschikbaar is. In een bestaande situatie doet die lamp het dan 'gewoon', maar hij kan meer na een retrofit van de VRI controller zelf.

Een LED-lamp kost nu ongeveer NFL 500,= à NFL 1.000,= (227 Euro à 454 Euro), voornamelijk doordat iedere lamp nu nog met de hand wordt gemaakt, getest en afgeregeld. Bij automatische grootschalige productie (100.000 lampen) zal de prijs naar verwachting zakken tot ongeveer NFL 100,= (45 Euro). Extra chips, zoals voor de communicatie, kosten niet erg veel.

6.4.3 Introductietraject

Rijkswaterstaat ziet 3 stadia in de introductie van LED-verkeerslichten. Deze zijn weergegeven in onderstaande figuur 6.3.



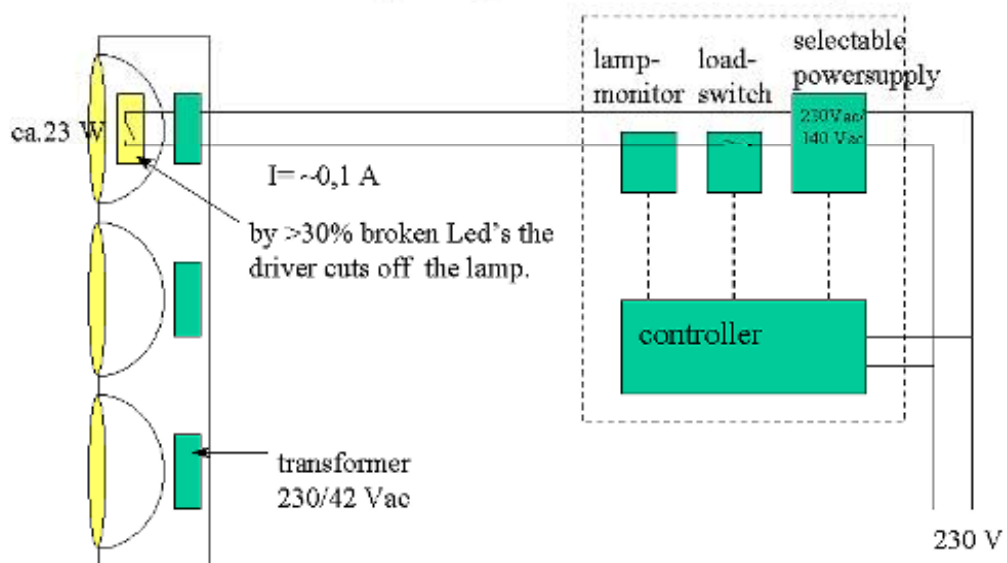
Figuur 6.3: *Introductie van de LED signaallamp* (figuur: Rijkswaterstaat, W. Zandvliet.)

6.4.3.1 1^e generatie LED-lampen

Momenteel zitten we in ‘fase 1’ waarbij gloeilampen worden uitgewisseld door LED-lampen die op dezelfde spanning werken maar veel minder stroom vragen. Hierdoor wordt de ‘roodlicht-detectie’ echter problematisch. De lampen bestaan ook in diverse, meestal open, uitvoeringen. Hierdoor is er een brede range aan spanningen waaronder de lampen moeten kunnen functioneren, dus ook een brede range aan stromen waarop de roodlicht-detectie aangepast moet worden. Verder zijn open systemen gevoeliger voor vuil, storingen hierdoor, en is niet altijd duidelijk in welke toestand (qua levensduur) een lamp zich bevindt, of hij gerepareerd is of nieuw gemonteerd. Een schematisch functionele weergave van deze lamp is gegeven in figuur 6.4.

Introductie vanaf 1998 tot 2003.

Basic scheme Led lamp 1e generation with lampmonitoring



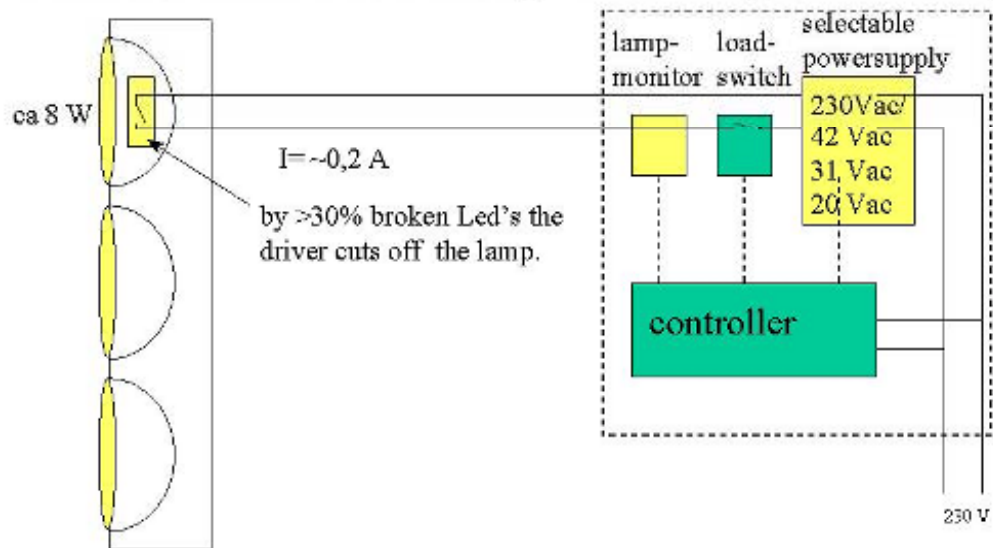
Figuur 6.4: Eerste-generatie LED-lamp (figuur: Rijkswaterstaat, W. Zandvliet)

6.4.3.2 2^e generatie LED-lampen

Deze zijn gesloten, en kunnen op diverse spanningen werken. Bij voorkeur op een zodanig lage spanning dat de stroom meetbaar is voor de roodlicht-detectie. Dimmen kan door in stappen de spanning te verlagen. Bijvoorbeeld van 42 V (10 W) via 31 V (6 W) naar 20 V (4 W). Bij al deze spanningsniveau's is de afgenomen stroom dan 0,2 A. Deze lamp is functioneel schematisch weergegeven in figuur 6.5.

Introductie van 2000 tot 2008.

Basic scheme Led² lamp with lampmonitoring



Figuur 6.5: *Tweede-generatie LED-lamp* (figuur: Rijkswaterstaat, W. Zandvliet)

6.4.3.3 3^e generatie LED-lampen

Ook deze zitten in een gesloten behuizing. Het vermogen is lager dan 10 W, zodat ze eventueel ook fotovoltaïsch zijn te voeden. Er is datacommunicatie met de buitenwereld: roodlicht-detectie, traploos dimbaar. Hij werkt op gelijkspanning van 48 V. Introductie vanaf 2004.

7. ENERGIEVERBRUIK

Omdat we in Nederland zoveel verschillende verkeersstromen regelen (auto's, bussen, fietsen, voetgangers etc.) zijn er meer signaalgroepen (gemiddeld 12 per kruispunt) met signaalgevers (gemiddeld 3 per signaalgroep) nodig, dus ongeveer 30 brandende lampen per kruispunt.

In onderstaande tabel 7.1 staan de totale rendementen (dus voor de lamp, kabels, filter en elektronica, in %) per lamptype opgesomd.

Tabel 7.1 *Relatieve rendementen voor gloeilampen en LED's*

Type omzetting	Symbool	Gloeilamp	LED
Vermogenstransport door kabel	η_k	0,98	0,98
Omzettingsrendement van de elektronica	η_e	-	0,70
Omzettingsrendement van de lamp	η_l	0,05	0,10
Som van rechtdoorgaand en door reflector teruggekaatst licht	η_r	0,80	-
Transmissierendement van het filter	η_t	0,25	-
Totaal rendement	η_{tot}	0,01	0,07

We zien dat het totaalrendement van een LED-lantaarn (7%) dus 7 maal zo hoog kan zijn als dat van een lantaarn met gloeilamp (1%). Een vermogensstroomdiagram is weergegeven in figuur 7.1.

Tot nu toe worden in de sector gloei-, halogeen- en kryptonlampen toegepast, grofweg in een verhouding 1:1:1. Het besparingseffect van de introductie van LED's zal dus aanzienlijk kunnen zijn. Ook omdat de lampen in scheepvaartseinen praktisch continu branden.

Wel dient aangetekend te worden dat besparingsgetallen voor Nederland behoorlijk kunnen verschillen met die in andere landen. In de USA bijvoorbeeld zullen de besparingen aanzienlijk hoger zijn omdat daar voornamelijk gloeilampen van 100 W - 150 W worden toegepast. Vervanging door een LED-lamp van 12 W geeft daar een factor 10 aan besparing.

In Stockholm worden in de EcoLux LED-lantaarns geen gekleurde filters toegepast. Wel een UV-filter voor bescherming van de LED's

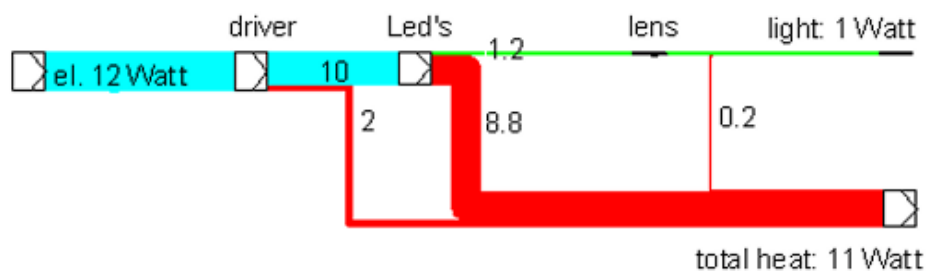
7.1 Metingen in Nederland aan 2 VRI's met en zonder LED-lantaarns

Op twee kruispunten in Alkmaar is het energieverbruik van de VRI gemeten. Hierbij zijn twee typen besparingen bepaald:

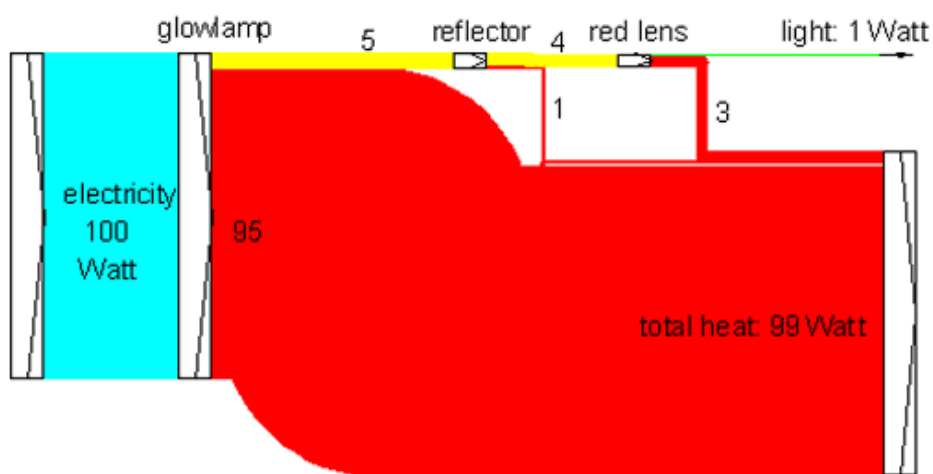
- de totale energiebesparing, dus wanneer naar het totale verbruik van de VRI wordt gekeken,
- de besparing wanneer alleen naar het verbruik van de lampen wordt gekeken.

In beide VRI's wordt 's nachts (8 uur lang) de elektronica verwarmd (100 W) om condensvorming te voorkomen. Bovendien heeft elke VRI een eigenverbruik (120 W). Vervanging van de onderlichten is niet aan de orde geweest. In tabel 7.2 worden de verbruiksgegevens getoond van beide kruispunten, in termen van eigenverbruik, verbruik van de lampen, verbruik van de onderlichten, verbruik van de verwarmingselementen, en totaalverbruik.

Energy flows in LED-signal



Energy flows in glowlamp signal



Figuur 7.1: Energiestromen in LED- en gloei-lampen (figuur: Rijkswaterstaat, W. Zandvliet)

Tabel 7.2 Verbruikscijfers kruispunt I

verbruiker	lamptype		besparingen	
	gloei W	LED's W	W	%
verwarming	800	800		
onderlichten	1.400	1.400		
eigenverbruik	2.880	2.880		
bovenlampen	19.560	2.105	17.455	89
totaal	24.640	7.185	17.455	71

Tabel 7.3 Verbruikscijfers kruispunt II

verbruiker	lamptype		besparingen	
	gloei W	LED's W	W	%
verwarming	800	800		
onderlichten	1.050	1.050		
eigenverbruik	2.880	2.880		
bovenlampen	16.270	698		
totaal	21.000	5.428	15.572	74

In bovenstaande voorbeelden worden dus besparingen gerealiseerd van 71% op systeemniveau tot 96% op lampniveau.

Dat de besparingen op systeemniveau lager uitvallen dan die op lampniveau is vooral te verklaren uit het eigegebruik van de elektronica van de VRI's en daarnaast uit het feit dat de elektronica 's nachts additioneel wordt verwarmd om condensvorming te voorkomen. Bovendien zijn de 'onderlichten' van de lantaarns niet vervangen door LED-lampen. Na vervanging van de bovenlichten door LED-lampen blijken deze onderlichten ongeveer 4 maal zoveel energie te consumeren als de LED-lampen. Dit zou een aanleiding kunnen zijn om ook voor deze onderlichten LED-lampen te ontwikkelen en te plaatsen.

Er blijkt verschil (factor 2!) te zijn tussen de besparingen op lampniveau (bovenlampen) in kruispunt I en kruispunt II. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat er misschien een aparte truc zou kunnen zijn toegepast om de roodlicht-detectie middels een extra resistieve belasting toch te kunnen laten werken.

Verder is uit de metingen aan deze twee kleine VRI's te halen dat het totale eigegebruik van de installaties (dus inclusief verwarming) ongeveer 15% à 17% van de totale energieconsumptie bij gebruik van conventionele (gloei-)lampen respectievelijk 51% à 67% na toepassing van LED-lampen bedraagt. Zouden tevens de onderlichten zijn vervangen door LED-lampen, dan waren we voor de onderlichten op een energieverbruik van 150W voor kruispunt I resp. 45W voor kruispunt II uitgekomen. Het relatieve aandeel van het eigenverbruik en de verwarming zou dan 53% bedragen voor kruispunt I en 83% voor kruispunt II; zie tabel 7.4. De verhouding eigenverbruik / totaal verbruik lijkt in VRI's met LED-lampen dus nogal scheefgetrokken te zijn. Het verdient aanbeveling om aan dit punt aandacht te verlenen.

Tabel 7.4 *Relatief aandeel eigenverbruik bij LED-onderlichten*

verbruiksoort	kruispunt I		kruispunt II	
	verbruik (Wh/dag)	relatieve aandeel eigenverbruik	verbruik (Wh/dag)	relatieve aandeel eigenverbruik
totaal eigenverbruik	3.680		3.680	
onderlichten	150	53%	45	83%
bovenlichten	2.105		698	
totaal verbruik	6.935		4.423	

7.2 Schatting van het jaarlijks energieverbruik en van de CO₂-uitstoot

We gaan uit van de schatting dat er 5.500 VRI's zijn, met ieder 12 signaalgroepen. Van iedere signaalgroep wordt het aantal signaalgevers op 3 geschat, en elke signaalgever bevat 3 lampen. Het totale aantal geïnstalleerde lampen bedraagt dus naar schatting:

$5500 \text{ VRI's} * 12 \text{ signaalgroepen} * 3 \text{ signaalgevers} * 3 \text{ lampen} = 600.000 \text{ lampen geïnstalleerd.}$

Overdag brandt hiervan 1/3 deel, dus ongeveer 200.000 lampen tegelijkertijd (continu).

De verhouding tussen de verschillende lampen wordt als volgt ingeschat:

Gloeilampen (80 W) : Halogeenlampen (40 W): Kryptonlampen (20 W) = 1:1:1.

Het gemiddeld vermogen per geïnstalleerde lamp is dus ongeveer 50 W.

Het continu gedurende de dag (van 06:00 uur tot 23:00 uur) afgenomen vermogen bedraagt dus naar schatting $200.000 * 50 \text{ W} = 10 \text{ MW}$.

In de nacht gaan we ervan uit dat de helft van de VRI's op oranje knippert. In een knipperende VRI branden ongeveer evenveel lampen als in een normaal in bedrijf zijnde VRI, maar dan voor de helft van de tijd. Het nachtelijk verbruik wordt dan $\frac{1}{2} * 10 \text{ MW} = 5 \text{ MW}$.

10 MW overdag en 5 MW 's nachts (23:00-06:00) zou overeenkomen met het volgende elektriciteitsverbruik per jaar:

$10 \text{ MW} * 17 \text{ uur/dag} * 7 \text{ dagen/week} * 52 \text{ weken/jaar} = 61.880 \text{ MWh/jaar}$

$5 \text{ MW} * 07 \text{ uur/dag} * 7 \text{ dagen/week} * 52 \text{ weken/jaar} = 25.480 \text{ MWh/jaar}$

Totaal verbruik: 87.360 MWh/jaar.

In termen van CO₂-uitstoot is dit ongeveer 44 Kiloton CO₂ per jaar.

8. KOSTEN

De technische levensduur van een installatie is ongeveer 15 jaar. De kosten voor een conventioneel (compleet) VRI voor een gemiddeld kruispunt worden geraamd op 70 à 180 duizend Euro. Het meest voorkomende bedrag is 70 à 90 duizend Euro.

Tabel 8.1 *Enkele prijzen (bij benadering)*

Item	Prijs in Euro
Gloeilamp 60 W en 100 W	2
Halogeenlamp 35W en 50 W	11
Kryptonlamp 40 W	2
LED lamp inclusief elektronica	minstens 11
Armatuur krypton, 10 V, $\phi = 300$ mm	500
LED armatuur	900

Meerprijs LED's:

Een LED-module is ongeveer 2 à 2½ keer zo duur als een standaardlantaarn. Voor een groot kruispunt levert toepassen van LED's dan een meerprijs op van zo'n 27 duizend Euro. Met LED's zou de prijs voor het duurste kruispunt totaal met ongeveer 10% toenemen.

Om financiële risico's tijdens de ontwikkeling te voorkomen is het dan ook goed om eerst standards af te spreken waaraan deze lantaarns moeten voldoen.

Momenteel (sinds 1 juli 1999) is er via Senter een subsidie op het produceren en toepassen van LED-lantaarns door middel van de Energie-InvesteringsAftrek van 17%.

Onderhoudsaspecten:

Nederlandse gemeentes vervangen over het algemeen de gloeilampen eens per ½ jaar, kryptonlampen eens per 1½ jaar. Bij toepassing van LED's dient iedere 10 jaar vervanging plaats te vinden. Ieder jaar is er sowieso onderhoud nodig (controle, schoonmaken).

Gloeilampen in scheepvaart installaties branden bij RWS zo'n beetje dag en nacht. Onder stalen bruggen moeten onderdoorvaartseinen soms wel zo'n 10 maal per jaar worden vervangen. Gloeilampen die elders geplaatst zijn dienen ongeveer 2 maal per jaar te worden vervangen. Als dit met een hoogwerker moet gebeuren, kost dit al gauw zo'n 300 Euro voor een lamp.

Sommige leveranciers presenteren hun LED-lantaarn dan ook voornamelijk als lantaarn met lage exploitatielasten.

Tabel 8.2 *Enkele onderhoudsprijzen (bij benadering)*

Item	Prijs per lamp in Euro
Reguliere lampwissel vanaf maaiveld	3,50
Reguliere lampwissel met hoogwerker	8,00
Tussentijdse lampwissel vanaf maaiveld	80,00
Tussentijdse lampwissel met hoogwerker	300,00

Vaak wordt aangenomen dat voor elke gloeilampfitting één tussentijdse lampwissel optreedt in iedere 5 jaar. Voor krypton en halogeen wordt dit op één per 10 jaar verondersteld.

Energiekosten

De prijs per kWh varieert per gemeente, en kan als ongeveer NFL 0,19 (0,087 Euro) worden aangenomen.

9. BESPARINGEN

9.1 Dimmen

Tot 30% dimmen (in lichtsterkte) is met het oog (bijna) niet zichtbaar.

Elektronisch dimmen (via fase-aansnijding) van lampen schijnt heel moeilijk te zijn zonder weer extra EMC-problemen te introduceren. Dimmen gaat meestal in één stap naar 160 V. Bij gloeilampen wordt dimmen gedaan door de spanning te verlagen, bij LED's verdient het voorkeur de stroom te regelen (ook bij voluit branden, als functie van de temperatuur).

9.2 Vervangen gloeilampen door LED's

9.2.1 Reinigen

Nederland wil als nieuwe richtlijn gaan hanteren dat er een reinigingsfrequentie wordt voorgeschreven. De toepassing van LED's in verkeerslichten kan een aanzienlijke energiebesparing betekenen. Nu wordt het reinigen gecombineerd met het vervangen van de gloeilampen. Indien LED's worden toegepast is dit vervangen minder vaak aan de orde, en is frequent reinigen wellicht een goede optie. Hoe hoog de reinigingsfrequentie moet zijn is nog niet bepaald, en hier moet een aparte studie aan worden gedaan indien je de energetische consequentie van reinigen goed wil inschatten. Momenteel wordt als een juiste frequentie 1 jaar verondersteld.

Er is een Canadees onderzoek, waaruit zou blijken dat de vervuiling oploopt tot 20% en daarna niet verder gaat. Aangezien de huidige aangegeven besparing door LED's in het zelfde gesprek werd aangegeven op 70% (haloëen) - 95% (gloeilamp), lijkt het reinigen niet een heel dominante factor.

9.2.2 Besparing op energiekosten en CO₂

In hoofdstuk 7 waren we voor de totaal door VRI's opgenomen energie uitgekomen op ongeveer 87.000 MWh/jaar. In termen van CO₂-uitstoot was we dit ongeveer 44 Kiloton CO₂ per jaar.

Introductie van LED-lampen zou het verbruik kunnen terugbrengen tot ongeveer 4 MW continu overdag, 2 MW 's nachts.

De mogelijke energiebesparing door LED-lampen in te voeren is ongeveer de helft, dus ongeveer 44.000 MWh/jaar. Omrekenen hiervan naar geldbedragen is enigszins gecompliceerd omdat er diverse kWh-prijzen worden gehanteerd. Het laagst betaalde tarief is ongeveer 10 ct/kWh (4,5 Euro-cent/kWh), hetgeen in een minimaal haalbare financiële jaarlijkse besparing op de energiekosten resulteert van NFL 4,4 Miljoen (2 Miljoen Euro). De kWh-prijs zal echter eerder (conservatief geschat) ongeveer 15 ct/kWh (7 Euro-cent/kWh) bedragen, met hierbij een minimale geschatte besparing van NFL 6,6 Miljoen (3 Miljoen Euro). In termen van vermeden CO₂-uitstoot komen we op ongeveer 22 Kiloton CO₂ per jaar uit.

9.2.3 Besparing op onderhoudskosten

Voor besparingen op onderhoudskosten (reguliere en tussentijdse lampwissel, loonkosten, hulpmiddelen) kan worden gedacht aan jaarlijkse bedragen van ongeveer NFL 97 (44 Euro) tot NFL 522 (237 Euro) voor een lantaarn. De terugverdienperiodes (berekend voor een specifieke regio in Nederland) bij vervanging van gloeilampen door LED-lampen varieert dan - inclusief de energiebesparing bij het lokaal gehanteerde elektriciteitstarief van NFL 0,19 (8,7 Euro-cent) per kWh - van 4 tot 13 jaar.

De prijsverhouding van een (Nederlandse) LED-lantaarn ten opzichte van één met gloeilampen varieert van een factor 2,3 tot 4,2.

9.3 Vervangen VRI's door rotondes

Recent worden op (schijnbaar) veel kruispunten de VRI's vervangen door rotondes. De rotonde bevindt zich qua type aansluiting tussen 2 wegen tussen het type voorrangskruising en de VRI in. Volgens schatting is maximaal 5% van het aantal kruisingen geschikt voor vervanging door een rotonde, vooral in kleine dorpen waar ze met het oog op de veiligheid uitstekend voldoen. Tóch neemt het aantal VRI's hiermee niet af.

De beste mogelijkheid uit het oogpunt van energiebesparing bij VRI's is het vervangen van verkeerslichten door het toepassen van minirotondes.

10. INTRODUCTIE- EN PROEFPROJECTEN

Zoals in hoofdstuk 7 is aangegeven zijn er metingen uitgevoerd aan LED's in verkeerslichten op twee locaties in Alkmaar. Senter subsidieert deze experimenten. De gerealiseerde besparing, gemeten aan de voeding zou t.o.v. gloeilampen 95% bedragen en t.o.v. halogeenlampen circa 70%. Het aantal LED's zal nog worden teruggebracht in de toekomstige versies (bijv. van 415 naar 168). De terugverdientijd wordt op zo'n 5 tot 7 jaar aangegeven. Er wordt aangegeven dat er geen technische problemen zijn die de invoering in de weg staan, en in Alkmaar is algehele invoering van LED's inmiddels reeds voltooid (bij de VRI's die de gemeente wil blijven beheren).

Aangegeven wordt dat Lelystad overweegt om met LED's in de OV te experimenteren.

In Kerkrade staat één kruising met LED-lampen (300 LED's) en Den Haag is bezig met Siemens om op een aantal kruisingen LED-lampen te installeren.

Er staan een aantal orders uit vanwege diverse provincies, o.a. Limburg: een kruising in Simpelveld. Verder zijn er in Emmeloord en Landgraaf een aantal kruisingen met LED's.

Er zijn pilotprojecten gaande door heel Nederland. Hoofddorp is bijna geheel 'volgebouwd', Purmerend gedeeltelijk.

10.1 Internationale ontwikkelingen

Peek Scandinavië, zuster van Peek Traffic Holland, past Ecolux LED's toe in Stockholm met VRI's van Peek Traffic Holland.

10.1.1 IEA

Binnen de International Energy Agency's (IEA) 'Demand Side Management Agreement', waar 15 landen in deelnemen, is één van de taken gericht op 'Cooperative Procurement' (Task III). Het doel hiervan is tot een verenigde vraag-zijde te komen waaruit producten voortkomen met een hogere energie-efficiency en die meer milieuvriendelijk zijn. Één van de 'pilot procurement projects' is het 'LED traffic signals project' (Intertraffic 2000).

De landen die hierin vooral deelnemen zijn Engeland, Nederland, Zweden, Finland en hebben de volgende probleemstelling gedefinieerd:

- hoe de implementatie van LED's in verkeerssignalering kan worden versneld,
- wat de gezamenlijke basis is voor internationale co-operatieve procurement,
- welke normen dit vereenvoudigen en welke een hindernis vormen.

Onder andere binnen dit kader heeft Finland (onder Motiva en de 3 grootste steden) zich bezig gehouden met de specificaties voor LED retrofit-signalen, welke gebruikt kunnen worden voor een internationaal gecoördineerd aanschaffingsbeleid.

Rijkswaterstaat heeft een specificatie opgesteld van een toekomstige LED-verkeerslamp, zie 6.4. Overwogen wordt om deze specificatie over te nemen in een technologiecompetitie waar fabrikanten technische oplossingen kunnen aandragen die hieraan voldoen.

Toekomstige acties:

- verdere ontwikkeling van een gezamenlijke specificatie voor zowel korte termijn (vervanging) als lange termijn (nieuwe systemen),
- meerdere ontmoetingen tussen kopers, beleidsmakers en wegenbeheerders,
- publieke e-mail discussielijst (www.stem.se/IEAprocure).

11. CONCLUSIES

Nederland telt ongeveer 5.500 VerkeersRegelInstallaties (VRI's) met hierin een totaal van ongeveer 600.000 lampen van gemiddeld ongeveer 50 W.

Het totaal verbruik van de in bedrijf zijnde VRI's bedraagt ongeveer 87.360 MWh/jaar.

In termen van CO₂-uitstoot is dit ongeveer 44 Kiloton CO₂ per jaar.

Hierop kan ongeveer 50% bespaard worden door de gloeilampen te vervangen door LED's.

In een aantal steden blijkt al in een redelijk aantal VRI's (VerkeersRegelInstallaties) als proef de gloeilampen vervangen te zijn door LED-lampen. De verwachte winst hierbij ligt, vanwege de hogere betrouwbaarheid van de LED's, voornamelijk op het vlak van onderhoud. De verwachting is dat met name de incidentele vervanging van de gloeilamp kan worden voorkomen, wat een aanzienlijk bedrag kan uitsparen.

Afgezien hiervan is echter de besparing aan elektriciteit groot, wat door de lage energiekosten echter niet zo sterk in de prijs doorwerkt.

De verwachtingen ten aanzien van de terugverdienperiodes variëren van 4 tot 13 jaar, afhankelijk van het type lantaarns en het lamptype (conventionele gloeilamp, halogeenlamp of kryptonlamp) dat op de kruising wordt toegepast.

Inpassing in de huidige VRI's leidt tot problemen in de rood-lichtdetectie omdat deze in hun detectiemetingen uitgaan van lampen met een grotere stroomopname. In veel gevallen is deze detectie echter uitgeschakeld; hier zouden LED's wellicht zonder grote problemen kunnen worden toegepast. In een groot aantal gevallen zal het detectiecircuit echter dienen te worden aangepast. Een extra belasting in de LED-lamp inbouwen is ook een mogelijkheid, maar bij deze maatregel zal er nauwelijks of geen energiebesparing te zien zijn.

Bij brede toepassing van LED-lampen wordt de verhouding tussen het energieverbruik van de onderlampen en het eigenverbruik tot het totaalverbruik nogal scheefgetrokken. Het verdient in dit geval aanbeveling om ook voor onderlampen LED's te overwegen. Hierna verdient het terugdringen van eigenverbruik (elektronica en verwarming) de aandacht.

ADRESSEN

Adviesbureau Fernhout FEE
Dag Hammerskjoldlaan 37
1902 DT Castricum
Tel: 0251-651 995
Fax: 0251-679 947

ANWB

Postadres:
Postbus 93200
2509 BA 's-Gravenhage
tel: 070 - 314 14 20

Ascom Nederland B.V.

Contact: K. van der Veer
Bezoekadres:
Blankenweg 22
6827 BW Arnhem
Postadres:
Postbus 5000
6802 EA Arnhem
tel: 026 - 355 35 35

ASTRIN, werkgroep standaardisatie LED- toepassingen

Vereniging FME-CWM
Contact: J.G. Zanen
Bezoekadres:
Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postadres:
Postbus 190
2700 AN Zoetermeer
tel: 079 - 353 11 00

Borg & Co

Nils Borg
Sveavägen 98, 4 tr
SE-113 50 STOCKHOLM
Zweden

Duco Schreuder Consultancies

Bezoekadres:
Spechtlaan 303
2261 BH Leidschendam
tel: 070 - 327 74 88
fax: 070 - 317 68 64

Energieonderzoek Centrum Nederland - ECN

Contact: A.T. Veltman
Bezoekadres:
Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postadres:
Postbus 1
1755 ZG Petten
Tel: 0224-564661
Fax: 0224-561407
web: <http://www.ecn.nl>

Ko Hartog Verkeerstechniek

Postadres:
Postbus 2004
1801 EA Alkmaar
Bezoekadres:
De Oude Werf 18
1852 PW Heiloo
tel: 072-533 3310
fax: 072-533 7064
e-mail:
kohartog@kohartog.nl
web: <http://www.kohartog.nl>

Nederland Haarlem

Postadres:
Postbus 665
2003 RR Haarlem
Bezoekadres:
Oudeweg 115
Haarlem
tel: 023 518 91 91
fax: 023 518 91 06

NOVEM - Utiliteitsgebouwen

Postadres:
Postbus 8242
3503 RE Utrecht
Bezoekadres:
Catharijnesingel 59
3511 GG Utrecht
tel: 030 - 2 393 493
fax: 030 - 2 316 491
e-mail: info@novem.nl
web: www.novem.nl

Peek Traffic

Stedelijke Verkeerssystemen

Postadres:
Postbus 2542
3800 GB Amersfoort
Bezoekadres:
Basicweg 16
Amersfoort
tel: 033 454 1841
fax: 033 454 1967

Rijkswaterstaat

W. Zandvliet
Postadres:
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht
tel: 030 - 2857 985
fax: 030 - 2857 306

Siemens Nederland N.V. Traffic, Transport and Special Projects

Postadres:
Postbus 16068
2500 BB Den Haag
Bezoekadres:
Prinses Beatrixlaan 26
2595 AL Den Haag
tel: 070 - 333 20 73
fax: 070 - 333 25 65

LITERATUUR

ANWB (1999): *18 Vragen over kruispunten*. Kampioen, jaargang 114, nummer 6, juni 1999, p. 84-85.

CEN12352 - (pr)EN: *Traffic Control Equipment - Warning & Safety Light Devices*.

CEN12368 - (pr)EN: *Traffic Control Equipment - Signal Heads* (Nederland hanteert aanvullende eisen bij CEN12368)

IEA (1999): *International workshop on co-operative procurement - LED traffic signals*. 27-28 September 1999, Stockholm, Sweden.

Intertraffic 2000 (2000): *International Seminar LED Traffic Signals towards market acceptance*. 12 April 2000, RAI, Amsterdam.

NEN 3322 (1972): *Verkeersregelinstallaties voor wegverkeer - Lichttechnische eisen en keuringsmethoden*.

NEN 3384 (1991): *Elektrische verkeersregeltoestellen*.

Ontwerp standaardbestek 240-II, hoofdstuk 8: *Elektrische lichtbronnen*.