

LED-VERLICHTING

OP HET (AMATEUR) SPORTVELD

TOINE ADAMS

NWST

Led-verlichting op het (amateur)sportveld

Auteur

Toine Adams

Uitgeverij

NWST NeWSTories bv
Vakblad Fieldmanager
Fransestraat 41
6524 HT Nijmegen
Tel: 024 3602454
Mail: info@nwst.nl
www.fieldmanager.nl

Abonnementen

Ondanks alle zorgvuldigheid, is (zijn) auteur(s) noch uitgever aansprakelijk voor welke schade dan ook, verband houdende met eventuele onjuistheden in deze uitgave.

Ontwerp

Marie Cecile Oosterhout (StudioBont)

Copyright

ISBN/EAN: 978-90-79720-12-5
Titel: Led-verlichting op het (amateur) sportveld
Auteur: Toine Adams, toine@toineadams.nl, +31 683236501

INHOUD

1. ALGEMEEN — **6**
2. BASISPRINCIPE LED-VERLICHTING — **10**
3. BEOORDELEN LED-SYSTEEM — **14**
4. ONTWERPEN IN DE PRAKTIJK — **22**
5. BEHOUDFACTOR — **24**
6. LICHTHINDER - LICHTVERVUILING — **28**
7. LICHTMASTEN VOOR SPORTVELDVERLICHTING — **31**
8. AAN TE LEVEREN BEREKENING — **33**
9. AAN TE LEVEREN DOCUMENTATIE — **35**
10. METEN IS WETEN — **36**
11. SUBSIDIE — **37**

VOORWOORD

De laatste jaren hebben er veel ontwikkelingen plaatsgevonden op de verlichtingsmarkt. Veel aanbieders van led-verlichting bieden ook speciale led-armaturen aan voor de verlichting van grote terreinen, sportvelden en stadions. De communicatie rond de toepassing en kwaliteit van deze led-armaturen loopt nogal uiteen en is op veel punten lastig te vergelijken.

Het is in veel gevallen moeilijk om de aangeboden led-verlichting te beoordelen op kwaliteit en geclaimde voordelen. Ook is niet altijd duidelijk of de led-verlichting toepasbaar is op sportvelden en welke verschillen en afwegingen van belang zijn bij de keuze tussen conventionele verlichting en led-verlichting. In deze publicatie worden handvatten gegeven die helpen om op basis van duidelijke uitgangspunten te kunnen beslissen om led-verlichting toe te passen op sportvelden. Hierdoor wordt teleurstelling na installatie voorkomen. Uitgangspunt hierbij is de led-verlichting van (buiten)sportvelden tot en met 16 led-armaturen.

TOEPASBAARHEID PUBLICATIE

In deze publicatie wordt niet ingegaan op het actuele aanbod van producten vanwege de snelle ontwikkelingen op het gebied van led-armaturen. In beginsel wordt, daar waar nodig, alleen ingegaan op techniek om informatie te geven over relevante uitgangspunten. Enige kennis van de materie is gewenst, maar niet noodzakelijk.

Vanwege de diverse uitgangspunten in deze publicatie, moet dit document niet worden gezien als een lijst met 'standaardeisen'. Elke opdrachtgever zal op basis van deze uitgangspunten een keuze moeten maken, die vervolgens opgenomen wordt in beleidsdocumenten, contracten e.d.

Dit document is opgesteld door:
Toine Adams



ALGEMEEN

1.1 LICHTBEHOEFTE

Een verlichtingsinstallatie op een sportveld dient een hoofddoel: het verlichten van het sportveld volgens de gestelde normen. In de meeste gevallen zijn de te realiseren verlichtingseisen gekoppeld aan de functie van het sportveld. In de praktijk zal het te realiseren lichtniveau voor een trainingsveld lager zijn dan het verlichtingsniveau op een wedstrijdveld. Ook bestaat er een relatie tussen de spelsoort, de snelheid van bijvoorbeeld een bal en de te realiseren verlichtingssterkte, gelijkmatigheid en kijkafstand.

De te realiseren verlichtingsklassen zijn voor de meeste sporten vastgesteld in NEN-EN-normen, die, afhankelijk van de speelklasse, kunnen variëren van 75 tot 500 lux op het veld. Ook worden er eisen gesteld aan de gelijkmatigheid van de verlichting, de maximaal optredende verblindingswaarde en de kleurweergave van de lichtbron.

Naast de functionele behoefte om voldoende licht te hebben om te sporten en te presteren, is een sportcomplex ook een sociale ontmoetingsplek, worden er inkomsten gegenereerd en draagt de verlichting bij aan een prettige omgeving waarin gesport kan worden.

1.2 LICHTPLAN

Om aan alle eisen te kunnen voldoen, is het van groot belang om elk armatuur correct te specificeren. Zomaar een paar armaturen ophangen zal in de praktijk altijd leiden tot een verlichtingsinstallatie die niet voldoet aan de norm en aan de verwachtingen en mogelijk zelfs niet bruikbaar is voor het beoogde doel.

Om erachter te komen hoe een goede verlichtingsinstallatie eruit dient te zien, is het van belang uitgangspunten vast te stellen. Daarnaast moet in een lichtplan worden aangegeven welke armaturen moeten worden gebruikt in welke opstelling/configuratie. Soms moeten armaturen vervangen worden

op bestaande masten; soms moeten masten vervangen worden door meer en/of hogere masten.

Gelukkig zijn er diverse standaardlichtplannen beschikbaar op websites van fabrikanten, die een goed beeld geven van standaardopstellingen met daarbij gespecificeerde armaturen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de werkelijke situatie kan verschillen van de in een standaardontwerp opgenomen uitgangspunten!

Het is dan ook van groot belang dat de toe te passen led-armaturen in elk geval vrij te configureren zijn. Dit houdt in dat het niet alleen mogelijk moet zijn om armaturen in de mast te "richten", maar ook om verschillende lichtstromen en lenstypen (lichtdistributie) op elk led-armatuur te kunnen toepassen. Diverse fabrikanten bieden dan ook standaard een grote diversiteit in led-armaturen aan.

Op basis van voornoemde punten wordt geadviseerd om altijd een lichtberekening op maat te laten maken. Met behulp van een ontwerp-berekening kan vastgesteld worden of de te realiseren verlichtingsinstallatie, mits op juiste wijze geïnstalleerd, zal voldoen aan de gestelde eisen.

Naast de juiste configuratie van de armatuur zijn er vaak additionele wensen rond strooilicht en lichtvervuiling. Voor de burens en het milieu is het van belang lichthinder en lichtvervuiling tot een minimum te beperken. Hier biedt led-verlichting een groot voordeel. Door het gebruik van lenzen is ledlicht goed uit te richten, daar waar conventionele lichtbronnen in spiegeloptieken meer strooilicht genereren. Hierbij wordt opgemerkt dat in enkele gevallen strooilicht tot een minimum beperkt kan worden en in andere gevallen de aanwezigheid van strooilicht juist wenselijk is.

Als de aanpassing van een lens niet mogelijk is, kan overwogen worden om aanvullend louvres aan te brengen op de armaturen. De toepassing van louvres resulteert in een mechanisch afgeschermd lichtbundel, waardoor

strooilicht beperkt wordt, maar in de meeste gevallen ook een scherp contrast ontstaat tussen licht en donker langs het veld. Ook dient rekening gehouden te worden met een verminderd rendement van de aangebrachte verlichting.

Naast de juiste specificatie van de led-armatuur is ook een eenvoudige en correcte installatie belangrijk voor het resultaat. Hierbij is het cruciaal dat de juiste uitrustings-tools beschikbaar zijn en gebruikt worden. Dit kan bijvoorbeeld door het uitrusten van de armatuur door middel van zogeheten optische richters.

Alleen bij een juiste installatie van de armaturen kan voldaan worden aan de eisen!

Voor het uitrusten is het van belang dat elk armatuur als één geheel gezien wordt; men moet zich realiseren dat het uitrusten van losse modules niet altijd zonder consequenties is. Het wordt dan ook afgeraden om in het veld handmatig correcties uit te voeren zonder eerst in overleg met de leverancier vast te stellen hoe een en ander uitgevoerd moet worden.

1.3 BIJZONDERE LICHTTECHNISCHE EISEN

Indien er ook sprake is van sporten met een fotofinish, tv-opnamen en dergelijke, worden specifieke, hogere eisen gesteld aan de te realiseren verlichtingsinstallatie. Te denken valt aan een minimaal te realiseren verticale verlichtingssterkte op vastgestelde vlakken. In dit document wordt niet verder ingegaan op de eisen die aan dergelijke verlichtingsinstallaties worden gesteld. Hiervoor wordt verwezen naar de diverse specialisten in dit vakgebied.

1.4 DUURZAAMHEID

Op dit moment heeft led-verlichting een betere lumen/Watt-verhouding dan conventionele verlichting. Ook is de levensduur van led-armaturen langer.

Daardoor is de toepassing van led-armaturen in het algemeen een duurzame oplossing als het gaat om energieverbruik en vervangingskosten.

1.5 SCHAKELEN EN DIMMEN VAN LED-VERLICHTING

Leds geven bij inschakeling direct 100 procent licht, in plaats van de lange opstarttijden van conventionele lichtbronnen. Conventionele lichtbronnen moeten eerst opwarmen, wat zo'n 10 tot 15 minuten kan duren, afhankelijk van de toegepaste lichtbron. Door de verlichting in te schakelen op het moment dat het veld gebruikt wordt, kan een extra besparing gerealiseerd worden. Dit kan door middel van directe aansturing, voorgeprogrammeerde schema's en sensoren.

Ook is het mogelijk om te werken met zoneschakelingen en/of dimschema's. Doordat de leds direct reageren, kan per direct omlaag dan wel omhoog gedimd worden, zonder dat men rekening hoeft te houden met opwarmtijden of naijgend gedrag van de verlichting. Of de toepassing van zoneverlichting praktisch is, dient per locatie beoordeeld te worden. Men moet zich realiseren dat bij het uitschakelen van masten (zoneschakeling) de gelijkmatigheid van de verlichting slechter wordt, en dat bij het dimmen van verlichting de gelijkmatigheid hetzelfde blijft bij een lager lichtniveau.

Er zijn op dit moment meerdere oplossingen om een geoptimaliseerde sturing aan te brengen. Te denken valt aan de mogelijkheid om verlichting via de telefoon, een app of een webbrowser te schakelen en te dimmen. Daarnaast worden in veel gevallen aanvullende voordelen gevonden doordat de penningmeester direct informatie kan uitlezen over het aantal verbruiksuren, het opgenomen elektrisch vermogen en eventuele andere bijzonderheden. Ook is het mogelijk om bij het gebruik van velden door meerdere huurders per avond duidelijkheid te krijgen over de verdeling van energiekosten.

1.6 VERVANGBAARHEID

Een eenvoudige en snel te onderhouden installatie drukt de beheer-

kosten. In het geval van een defecte led-driver (voorschakelapparaat voor led-verlichting) hangen die kosten sterk af van de bereikbaarheid van de led-driver. Daarom kan het een voordeel zijn als de leverancier van de led-armaturen de led-driver bij de grond kan plaatsen, in plaats van in of bij de led-armatuur op de mast. Let wel: de mogelijkheden in de praktijk zijn sterk afhankelijk van de wens van de beheerder en de toegepaste materialen, zoals het type led-driver, de aansluitleiding en het type lichtmast.

1.7 BETROUWBAARHEID LED-VERLICHTING

Het is van groot belang dat de verlichting werkt op het moment dat het moet. Het falen van de verlichting leidt in de meeste gevallen tot frustraties, klachten en vooral een slecht imago van de beheerder van de installatie. Het is daarom van belang dat de betrouwbaarheid van de led-verlichting zo groot mogelijk is. Dit kan bereikt worden door rekening te houden met een aantal zaken.

De led-driver bevat (bij alle led-systemen die op dit moment op de markt zijn) gevoelige en kwetsbare elektronica, waaronder printplaten. Deze componenten zijn in geen geval bestand tegen water en hoge temperaturen. De plaatsing van de led-drivers verdient in elk geval aandacht. Het is niet goed om de led-driver zomaar ergens op te hangen, zonder rekening te houden met de montage-instructies. Ook dient rekening gehouden te worden met de mogelijkheid om deze componenten snel en eenvoudig te kunnen vervangen (zie par. 1.7)

Door het op afstand plaatsen van de led-drivers van de led-armatuur (warmtebron), kan de temperatuur van de led-driver lager zijn dan bij montage in de directe nabijheid van de leds. Stelregel is: hoe kouder elektronica is tijdens gebruik, hoe langer de levensduur. De vuistregel is: een stijging van vijf graden halveert de theoretische levensduur; een daling van vijf graden verdubbelt de theoretische levensduur.

De constructie van veel armaturen laat het toe om eventuele defecte led-modules afzonderlijk van elkaar te vervangen. Bij andere led-producten zal bij een storing aan de componenten de gehele armatuur vervangen moeten worden. De kosten voor reparatie zijn daarmee vele malen hoger. De keuze voor een totaalproduct of led-armatuur waarvan diverse onderdelen los vervangen kunnen worden, maakt het tevens mogelijk om een tussentijdse upgrade uit te voeren. Te denken valt aan nieuwe leds met een hoger rendement. In dergelijke gevallen bestaat zelfs de kans dat de armaturen niet opnieuw uitgericht hoeven te worden. Hierbij wordt opgemerkt dat het uitvoeren van een upgrade aantoonbaar voordeel moet opleveren! Een besparing van een aantal euro's per jaar op de energierekening weegt mogelijk niet op tegen de vervangingskosten. Het is denkbaar dat een leverancier van led-armaturen deze upgrade aanbiedt als service bij het afsluiten van een onderhoudsovereenkomst.

1.8 BETROUWBARE PRODUCTEN, APPELS EN PEREN

Met de komst van de led-technologie zijn ook veel nieuwe leveranciers toegetreden op de verlichtingsmarkt. Hierbij is een markt ontstaan waarbij producten vaak vergeleken worden op geclaimde specificaties. De achtergrond waartegen en de testwijze waarmee deze specificaties tot stand zijn gekomen, kunnen echter erg uiteenlopen.

Er zijn voorbeelden bekend van leveranciers die elk product aanbieden aan een testlaboratorium om betrouwbare informatie te kunnen leveren, terwijl andere leveranciers niets laten testen en alleen uitgaan van de documentatie van productleveranciers.

Een voorbeeld hiervan is de opgegeven lichtstroom. Als een led-module initieel 6.000 lumen levert, zal na toepassing in een behuizing mogelijk 5.000 lumen effectief uit de armatuur uitgestraald worden (armatuurrendement). In het eerste geval zal het product dus meer beloven dan waargemaakt kan worden bij toepassing.

Daarnaast zijn de prestaties van led-armaturen sterk afhankelijk van de omgevingstemperatuur. Het loont daarom om de fabrikant te vragen naar de lichtstroom bij verschillende temperaturen. Dit geeft een beter beeld van de specificaties op papier en de uiteindelijke resultaten op het sportveld. Een professionele fabrikant heeft deze gegevens paraat en specificeert zijn claims met standaard-meetprotocollen. Een ander goed voorbeeld hiervan is levensduur, zowel wat betreft uitval als lumendepreciatie. In Europa zijn veel kwaliteitseisen geborgd in certificaten, zoals die van Kema en ENEC.

Naast specificaties en certificaten biedt ook garantie de geruststelling van goede prestaties. Garantie van een gerenommeerd merk geeft zekerheid, mocht er onverhoopt toch iets mis zijn met de armaturen. Naast standaard-garantiebepalingen wordt er ook verlengde garantie aangeboden door sommige aanbieders. Het kan zeker de moeite waard zijn om hierin te investeren, aangezien led-armaturen een zeer lange levensduur hebben.

1.9 EEN BETROUWBARE VERLICHTINGSPARTNER

Investeren in led-verlichting betekent een langetermijn-commitment met een led-leverancier. Door de lange levensduur van armaturen is het van belang een betrouwbare partij te kiezen, die ook in de toekomst kan ondersteuning kan bieden met project-begeleiding, lichtberekeningen en -metingen en nalevering van componenten.

Led-verlichting wordt niet alleen aangeschaft vanwege de kostenbesparing. De toepassing van ledtechniek draagt ook bij aan de circulaire economie van vandaag. Er zijn leveranciers die hun producten al hebben ontwikkeld volgens

deze filosofie. Hierdoor draagt de led-armatuur bij aan een beter milieu en een groenere wereld.





BASISPRINCIPE LED-VERLICHTING

In onderstaande paragrafen wordt kort ingegaan op de bijzonderheden van led-verlichting. Voor verdere toelichting wordt geadviseerd contact op te nemen met specialisten en/of leveranciers van led-systemen.

2.1 WAT IS EEN LED

Een led (*light emitting diode*) is een elektronische component die onder bepaalde condities monochromatisch licht uitstraalt. Te denken valt aan rood, blauw en groen licht. Om wit licht te maken, moet een extra handeling uitgevoerd worden. Wit licht maken kan op twee manieren:

- Door het combineren van rode, groene en blauwe leds (RGB).
- Door blauwe leds te voorzien van een fluorescentiepoeder, dat het blauwe licht omzet in wit licht.

Deze laatste methode wordt voor sportveldverlichting het meeste toegepast.

In onderstaande tabel worden de grootste verschillen tussen standaard-lichtbronnen en leds aangegeven.

2.2 PRODUCTIE EN TOEPASSING LEDS

In de praktijk blijkt dat het produceren van leds in een constant hoge kwaliteit moeilijk is, waardoor slechts een klein deel van de geproduceerde leds geschikt is voor hoogwaardige verlichtingsarmaturen. Omdat na productie niet alle minder goede leds worden vernietigd, is de kans groot dat led-armaturen worden voorzien van een mix van diverse leds van uiteenlopende kwaliteit.

Elke fabrikant van led-verlichting kan dus kiezen voor het toepassen van dure, uniforme leds of voor wat goedkopere leds, die in meer of mindere mate een grotere spreiding hebben wat betreft lichtkleur, lichtstroom en doorlaatspanning.

Producenten verkopen leds die onderling gelijk zijn, maar per serie kunnen verschillen. Het mixen van leds uit verschillende series is daarom een goede

manier om een zo uniform mogelijke mix te krijgen. Dit proces wordt *binning* genoemd. De kwaliteit van de binning bepaalt de uniformiteit van de toegepaste leds.

De vraag die moet worden gesteld, is hoe een fabrikant van led-armaturen zorg draagt voor een kwalitatieve, gelijkwaardige productie, waarbij verlichtingsinstallaties nu en in de toekomst kunnen worden uitgebreid en onderhouden.

Leds die nu worden geproduceerd en verkocht, zijn over enkele maanden immers niet meer te leveren. Ook moet worden voorkomen dat bij een project led-verlichting wordt toegepast die per led-armatuur een andere kleurzweem of lichtstroom heeft.

Conventionele lichtbron	Led lichtbron
Licht straalt rondom uit. Het licht wordt gestuurd door een spiegel.	Licht straalt aan voorzijde led uit en kan heel precies worden gestuurd door de toepassing van een lens. Daardoor ontstaat nauwelijks strooilicht.
Warmte straalt rondom uit.	Warmte ontstaat aan achterzijde led.
Spectrale verdeling op basis van aanwezige gassen. Meerdere lichtkleuren zijn aanwezig in uitgestraald spectrum.	Monochromatisch licht eventueel omgezet naar wit licht door toepassing fluorescentiepoeder.

Tabel 1: Verschillen conventionele lichtbron en led lichtbron.

2.3 WAT IS EEN LED-SYSTEEM

Een led maakt altijd deel uit van een led-systeem, waarin alle componenten belangrijk zijn voor de prestatie van het geheel. De kwaliteit van een led-armatuur kan dan ook nooit worden beoordeeld op basis van gegevens van de individuele led.

Onder een led-systeem wordt in dit document verstaan: een compleet samengebouwde led-armatuur bestaande uit behuizing, lichtbron(nen), leddriver en eventueel aanwezige controleapparatuur (bv. dimmer, lampcontroller etc.). Simpel gezegd: zoals de armatuur als totaalproduct uit de verpakking komt.

				
Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
LED-chip	LED	LED's op PCB	LED-module met optiek en driver	Armatuur

Figuur 1: Van led-chip tot led-systeem



BEOORDELEN LED-SYSTEEM

In dit hoofdstuk wordt een aantal belangrijke kenmerken van ledsystemen behandeld, met daaraan een richtlijn gekoppeld.

3.1 ELEKTRISCH VEILIGHEID EN KEURMERK

In Nederland dienen laagspanningsinstallaties te voldoen aan de laagspanningsrichtlijn (wet). Dit kan door het toepassen van elektrische materialen (dus ook led-armaturen) die voorzien zijn van een keurmerk, zoals Kema-Keur (Nederlands) of EneC (Europees). Elk verlichtingstoestel (elke led-armatuur) dient dus bij wet te voldoen aan eisen zoals opgenomen in de laagspanningsrichtlijn.

Hoewel elke fabrikant verplicht is om volgens de wet te handelen, is hij niet verplicht om een keurmerk, bijvoorbeeld Kema-Keur, te voeren. Dit keurmerk staat voor aangetoonde veiligheid van elektrische apparaten. Dit is vastgesteld door het betreffende product te laten testen door een onafhankelijk keuringsinstituut (Dekra). Elk product waaraan een keurmerk is toegekend, heeft de vereiste veiligheidstests, gebaseerd op internationale standaarden, doorstaan.

De aanwezigheid van een keurmerk verzekert u ervan dat het product veilig is. Er wordt dan ook dringend geadviseerd om de aanwezigheid van een keurmerk als bindende eis op te nemen.

Voor alle duidelijkheid: het kopen van goedgekeurde, aangetoonde veilige producten betekent niet automatisch dat de elektrische installatie veilig is! Totale veiligheid wordt verkregen door de elektrische installatie uit te voeren volgens norm NEN 1010. Deze norm beschrijft dat de installatie zodanig afgeschermd en veilig uitgevoerd moet zijn, dat bij normaal gebruik geen gevaarlijke situaties voor mens en dier kunnen optreden, zoals elektrocutie.

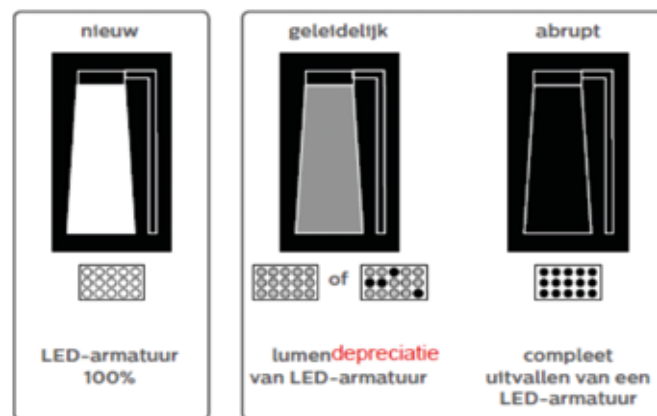


3.2 LEVENSDUUR LEDS

Het falen van led-verlichting bestaat in hoofdzaak uit het optreden van een geleidelijke lichtterugval (degradatie) of het abrupt (totaal) falen van led-modules of led-armatuur. Belangrijke oorzaken voor het falen van led-armaturen zijn de bedrijfstemperatuur van de led-armatuur, de (elektrische) kwaliteit van de led-driver en de kwaliteit van de behuizing.

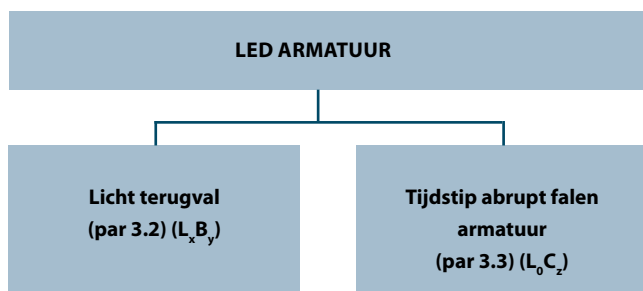
Om teleurstelling te voorkomen, is het van belang dat elke fabrikant van led-armaturen een onderbouwde uitspraak kan doen over de te verwachten lichtterugval en -uitval van de door hem geproduceerde led-armatuur. Op basis van voornoemde faalmechanismen is het mogelijk om een levensduurverwachting af te geven van 1.000 uur tot vele tienduizenden uren. Hier wordt opgemerkt dat een led als lichtbron zelden faalt tijdens de opgegeven levensduur, maar dat de lichtterugval altijd optreedt in de loop van de tijd.

Leds vertonen namelijk een ander verouderingsgedrag dan gangbare lichtbronnen. Terwijl andere lichtbronnen aan het einde van de levensduur



Figuur 2: Prestaties led armatuur over tijd.

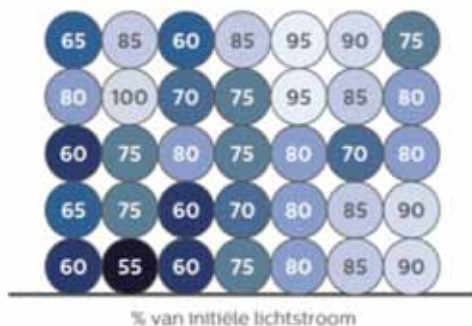
veelal geheel uitvallen, neemt bij de led gedurende de hele levensduur de lichtstroom af, tot er uiteindelijk nagenoeg geen licht meer overblijft.



3.3 LEVENSDUUR VOLGENS IEC-PAS62717 (L_xB_y)

Anno 2015 is de L-toevoeging aan de levensduurdefinitie uit de IEC PAS 62717 algemeen bekend. 50.000 L70 betekent bijvoorbeeld dat de led na 50.000 uur nog steeds minimaal 70% van de initiële lichtstroom geeft. Bij een L80- en L90-toevoeging is dit respectievelijk 80% en 90%.

Een belangrijke vraag bij deze L-waarde is hoe deze bepaald is.



Figuur 4: toont het verschil tussen het depreciëren van een led-armatuur en het abrupt falen van een led-armatuur.

Niet elke led is per definitie hetzelfde! Onderstaande grafiek toont een voorbeeld van een populatie leds, met in de cirkel het percentage lumenbehoud voor elke individuele led na veroudering.

Zoals te zien is het lumenbehoud na veroudering niet voor elke led hetzelfde. Anders weergegeven wordt het wat eenvoudiger om de beoordeling van deze resultaten te analyseren.

Binnen de getoonde populatie kunnen we nu vaststellen dat de mediaan nagenoeg gelijk is aan de gemiddelde waarde van 80% lumenbehoud. Vanwege de logaritmische verouderingseigenschappen van leds (afname lichtstroom) kan overigens gesteld worden dat de gemiddelde waarde altijd dicht bij de gemiddelde waarde ligt. Dit is van belang, omdat we de gemiddelde lichtstroom gebruiken voor het maken van lichttechnische berekeningen en de mediaan voor het bepalen van de L-waarde (levensduur leds).

Binnen de IEC wordt de bruikbare levensduur uitgedrukt in L_x en B_y , om aan te geven hoeveel leds onder of boven het gemiddelde liggen. Deze aanduiding geeft dan ook samen de bruikbare levensduur aan.



Figuur 5: andere weergave van lumenbehoud na veroudering.

BEOORDELEN LED-SYSTEEM

In voorkomende gevallen is het gewenst dat een kleiner deel van de populatie leds onder de gewenste lumenstroom ligt. Als voorbeeld wordt vaak B10 genoemd. Dit is mogelijk met als consequentie dat de tijd waarbinnen de B10-waarde gegarandeerd wordt, korter wordt. In onderstaand voorbeeld wordt 50.000 uur teruggebracht naar 45.000 uur. De exacte aanpassing van de levensduur dient door de fabrikant vastgesteld en aangegeven te worden.

In het geval dat de mediaan gelijk is aan de gemiddelde waarde, is bekend dat de B-waarde 50 is. Daarom wordt door veel fabrikanten alleen een L_x -waarde opgegeven. In alle andere gevallen dient de $L_x B_y$ -waarde opgegeven te worden!

De specificatie van de levensduur wordt dan bijvoorbeeld als volgt:

50.000 L80
(is gelijk aan 50.000 L80B50)

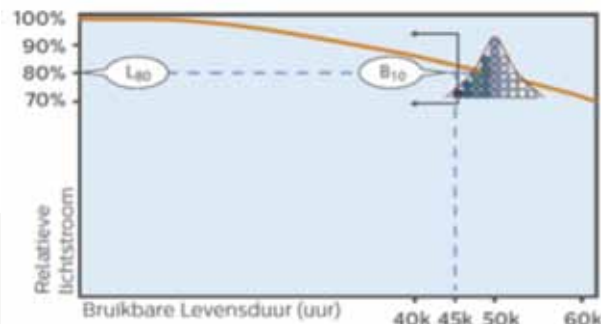
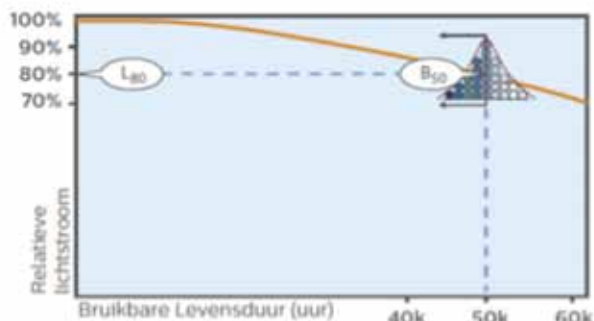
Dit betekent dat na 50.000 uur minimaal 50% van een populatie leds nog minimaal 70% van de initiële lichtstroom geeft.

Bron: IEC-PAS 62717

3.4 TIJDSTIP VAN ABRUPT FALEN ($L_0 C_z$)

Het abrupt falen van een led-armatuur kan meerdere oorzaken hebben, die samengevat uitgedrukt worden in een $L_0 C_z$ -waarde. Deze waarde beschrijft het percentage kans op een abrupte uitval van de leds (niet zijnde degeneratie van de lumenstroom) en het berekende moment van totaal falen van de armatuur. Zo zou een aanduiding L10C10 inhouden dat 10% van de leds gedoofd is en een aanduiding C10 (bij opgegeven aantal bedrijfsuren) inhouden dat 10% van de led-armaturen faalt.

Hierbij moet benadrukt worden, dat het binnen de branche niet duidelijk is hoe men moet omgaan met het vaststellen van de juiste aanduiding van abrupt falen. Een onderlinge vergelijking van verschillende producten van fabrikanten op dit punt is daardoor niet mogelijk.

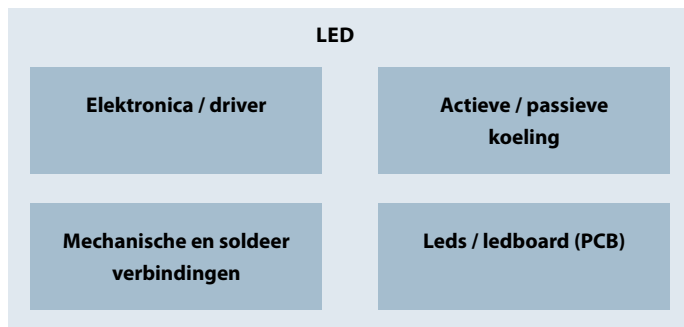


Figuur 6 : Voorbeeld aanpassing van B50 naar B10.

1 In de statistiek is de mediaan het midden van een verdeling of gegevensverzameling

3.5 VASTSTELLING TIJDSTIP ABRUPT FALEN

Omdat een led-armatuur bestaat uit meerdere componenten, kan het falen van een van deze componenten leiden tot het falen van het geheel. Onderstaand overzicht geeft inzicht in de systeemdelen die elk in meer of mindere mate kunnen bijdragen aan het falen van een led-armatuur.



Figuur 7: Kritische componenten led armatuur.

Omdat in de praktijk vaak blijkt dat de leddriver de kritische schakel in de keten is, houden diverse fabrikanten op dit moment het uitvalpercentage van de toegepaste leddriver aan bij de beoordeling van de kans op abrupt falen. In de praktijk zal moeten blijken of deze aanname correct is. Tot dat duidelijk is, wordt deze aanname gedragen.

Op basis van voornoemde uitgangspunten moet dus voor led-armaturen de $L_x B_y$ -waarde worden gegeven bij het aantal bruikbare levensduururen op basis van de maximale bedrijfstemperatuur.

Voor het vaststellen van het percentage abrupt falen moet op basis van de specificaties van de toegepaste leddriver vastgesteld worden wat het uitvalpercentage is bij de $L_x B_y$ -waarde die aangehouden wordt.

Uitgangspunt voor ledsportveldverlichting is het voldoen* aan onderstaande (minimale) eisen:

- $L_x B_y$: 40.000 L80B10
- $L_0 C_z$: max. 5,0% uitval bij 40.000 uur

Men moet zich realiseren dat veel fabrikanten beduidend hogere L_x -waarden afgeven, omdat de toegepaste leds geleverd worden op basis van een L80-waarde bij bijvoorbeeld 100.000 – 150.000 uur en de L_x -waarde bij 40.000 uur hierdoor aanzienlijk hoger is. Er zijn voorbeelden bekend van aangegeven L98-, L99-waarden. De waarde L100 is mijn inziens niet mogelijk! Elke led veroudert en geeft in de loop van de tijd minder licht, ook bij slechts 40.000 uur.

- Bedrijfstemperatuur van maximaal 25 graden Celsius.
- Betere waarden zijn uiteraard toegestaan!
- Afwijken van genoemde eisen is mogelijk in overleg tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

3.6 BEDRIJFSTEMPERATUUR

De temperatuur van leds in een led-systeem wordt bepaald door drie factoren:

- De bedrijfsstroom (hoe hoger, hoe meer de leds opwarmen).
- De kwaliteit van de warmtehuishouding van de armatuur.
- De bedrijfstemperatuur van het led-systeem in zijn omgeving (T_a).

De temperatuur van elektronica-componenten, dus ook leds, heeft invloed op de levensduur van deze componenten. Ook de hoeveelheid uitgestraald licht (lichtstroom) van leds is afhankelijk van de temperatuur in de led.

Om de leds zo koel mogelijk te houden, wordt in de praktijk de meeste warmte (aan de achterkant van de leds) afgevoerd door middel van (koel) massa die in de armatuurbehuizing is aangebracht. Om deze reden zijn led-armaturen in veel gevallen zwaar. Ook zijn voorbeelden bekend van

BEOORDELEN LED-SYSTEEM

armaturen die koeling realiseren door middel van convectie of een ventilator. Verder kan worden gesteld dat in een samenstelling van diverse elektronische componenten de slechtste component de kwaliteit van het gehele led-systeem bepaalt.

Een perfecte led in combinatie met een slechte leddriver of vice versa levert dus een slecht led-systeem. In de praktijk blijkt overigens ook dat de toe-gepaste lenzen een aanzienlijk invloed hebben op de temperatuurhouding van leds.

Op basis van voornoemde punten wordt gesteld dat elk led-systeem (dus het totaal uit de doos) geschikt moet zijn voor een maximale nachttemperatuur (T_q) van 25 graden Celsius en onder deze omstandigheden zijn aangegeven levensduur, als led-systeem, dient te behalen.

3.7 T_a of T_q

In de praktijk worden meerdere temperaturen aangegeven, die op verschillende wijzen worden uitgelegd en toegepast. Omdat het te ver gaat om alle relevante temperaturen uit te werken in dit document, zijn alleen de T_a en T_q uitgewerkt in deze paragraaf.

Definitie T_a :

Door de fabrikant opgegeven maximale temperatuur van een led-systeem (theoretisch in testomgeving).

De T_a -waarde moet primair worden gezien als een niet te overschrijden grens, om te voorkomen dat elektronische componenten vroegtijdig falen. Het niet overschrijden van deze maximale waarde betekent dat de kans op schade en uitval zeer klein is. Het zegt dus niets over de prestatie van een led-systeem op het gebied van levensduur.

Definitie T_q :

Door de fabrikant opgegeven maximale bedrijfstemperatuur van een led-systeem in bedrijf (praktijk).

De T_q -waarde is direct gerelateerd aan T_p , de temperatuur op het ledboard (temperatuur aan de achterkant van de leds). Eerst wordt bepaald bij welke temperatuur (T_p) leds nog aan een levensduurvoorspelling voldoen, en vervolgens bij welke omgevingstemperatuur de maximale T_p net niet wordt gehaald.

Het niet overschrijden van deze maximale waarde betekent dat de kans op schade en uitval zeer klein is. Daarnaast betekent het dat de aangegeven gegarandeerde minimale lichtstroom aan het einde van de opgegeven levensduur wordt behaald.

Alleen door de T_q -waarde te gebruiken, kan men de prestatie van een led-systeem op het gebied van levensduur vaststellen.



Figuur 8: Gemiddelde nachttemperatuur Europa.

Hoewel op deze kaart lagere temperaturen voor Nederland worden aangegeven, dient een led-armatuur geschikt te zijn voor een omgevingstemperatuur in bedrijfstoestand van 25 graden Celsius.

3.8 BEDRIJFSSTROOM

Voor het laten branden van led-verlichting moet elektrische stroom door de led worden gestuurd. In de praktijk wordt deze stroom geregeld door middel van een zogeheten leddriver. Bij een hogere stroomsterkte geeft de led meer licht, maar wordt de temperatuur hoger en daarmee de levensduur korter, als er geen maatregelen getroffen zijn om deze hogere temperatuur af te voeren.

3.9 LICHTDISTRIBUTIE LEDS

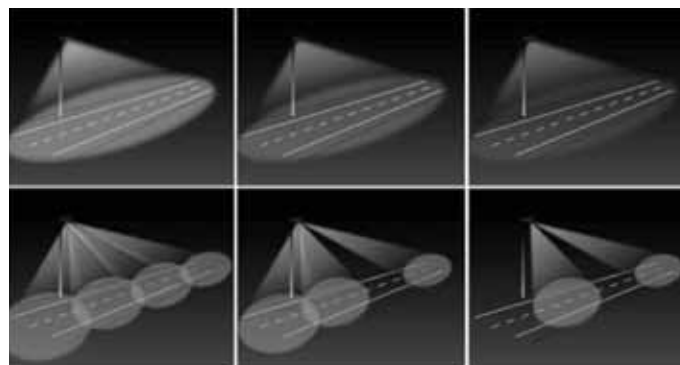
In de praktijk bestaan er drie manieren waarop het uitgestraalde licht wordt gedistribueerd. Ten eerste kan het ledlicht door middel van een spiegel worden verdeeld. Ten tweede kan dat door middel van een kunststof lens, en tot slot kan een combinatie van beide worden toegepast.



3.10 MULTILAYER EN MULTISPOT

Diverse producenten van led-armaturen richten elke ledmodule op een afzonderlijk deel van het veld, om tot een gelijkmatige verlichting te komen. Omdat elke bundel nodig is om de minimale verlichtingskwaliteit op het veld te behalen, leidt uitval van een of meerdere led-modules tot direct waarneembare ongelijkmatigheid.

Bij een zogeheten multilayer-concept verspreidt het licht van elke led zich over het gehele aan te lichten vak op het veld. Door meerdere leds toe te passen die allemaal voorzien zijn van dezelfde multilayer-lens, wordt het geëiste verlichtingsniveau behaald. Het doven van één led of enkele leds levert een iets lager lichtniveau op, maar de verlichtingstechnische gelijkmatigheid op het veld blijft gelijk.



Figuur 9 : Verschil tussen multilayer- en multispot-verlichting bij uitval ledmodules op een wegvak (voorbeeld).

Op foto 2 en 3 is een voorbeeld te zien van een tweetal multilayer-led-armaturen op een lichtmast. Elke led van de armatuur heeft dezelfde lens en de armatuur bestrijkt een totaal gebied als één geheel.

BEOORDELEN LED-SYSTEEM



2. Multispot-ledmodules (multilayer per module).



3. Multilayer-leds in een behuizing.

Op foto 2 worden meerdere multilayer-ledmodules gecombineerd tot één armatuur. De vraag is of we het hier hebben over multilayer-verlichting (als geheel) of over multispot-verlichting. Feit is dat als één ledmodule uitvalt, er een “donkere vlek” ontstaat op het veld.

Naast de discussie over de lichtdistributie is er de vraag hoe de betreffende armatuur ingemeten, berekend en gericht moet worden.

Richten we hier het geheel als één armatuur of moet elke module afzonderlijk gericht worden?

Als uitgangspunt wordt aangehouden dat dezelfde kleurtemperatuur wordt toegepast op een sportveld. Hierdoor worden kleurverschillen tussen diverse soorten led-verlichting binnen het gebied beperkt.

3.11 KLEURWEERGAVE

Kleurweergave is het vermogen van een lichtbron om nauwkeurig de kleuren van verlichte voorwerpen weer te geven.

Op dit moment is de kleurweergave-index, Color Rendering Index (CRI), de belangrijkste maat voor de kleurweergave, uitgedrukt in Ra. Deze index meet

hoe getrouw een lichtbron het uiterlijk van acht gestandaardiseerde kleurmonsters weergeeft ten opzichte van een ideale lichtbron, op een schaal tot 100. De referentiebron (standaard daglicht of halogeen) heeft een maximale Ra van 100. De stelling dat CRI niet toepasbaar is op (witte) led-verlichting, blijkt alleen te gelden voor led-verlichting met samengesteld wit licht (RGB-leds). De kleurweergave van witlichtleds die voorzien zijn van ‘remote fosfor’, is vergelijkbaar met fluorescentie-lichtbronnen. Op basis van ervaring met led-verlichting wordt gesteld dat een Ra > 70 bij recreatie en Ra > 85 bij professionele CRI mogelijk is.

Richtlijn: Bij sportveldverlichting is een Ra > 60 opgenomen als eis in de diverse voorschriften/richtlijnen (NOC.NSF en NSVV).



Effect uitval ledmodule bij multispot-verlichting

3.12 KLEURTEMPERATUUR

De kleur van wit licht wordt uitgedrukt in een temperatuur op de Kelvin-schaal. Daglicht is bijvoorbeeld gedefinieerd als ± 5600 graden Kelvin (5600 K). De kleurtemperatuur van een lamp drukt uit of deze een warme kleur geeft of een koele witte kleur. Mensen ervaren licht met een lage kleurtemperatuur als warmer dan licht met een hoge kleurtemperatuur.

Blauwe leds krijgen een warmere lichtkleur naarmate er een dikkere laag fluorescerend poeder op is aangebracht. Om die reden zijn koel-witte leds energie-efficiënter dan warm-witte.



Figuur 10: Impressie verschillende kleurtemperaturen, v.l.n.r.: 3000 K, 4000 K, 5600 K.





ONTWERPEN IN DE PRAKTIJK

4

Over het algemeen zijn eenvoudige ontwerpberekeningen snel te maken en is het aantonen van een behaalde verlichtingskwaliteit redelijk eenvoudig. In de praktijk blijkt echter dat het ontwerpen en realiseren van een goede (led) verlichting lastig kan zijn. Dit met name vanwege de hoeveelheid armaturen, de hoge gelijkmatigheid en maximale verblindingswaarde. Het verbeteren van één armatuur resulteert vaak in het aanpassen van meer armaturen. Ook blijkt dat het na de introductie van led-armaturen steeds moeilijker wordt om kleine onvolkomenheden tijdens de realisatie weg te nemen. Terwijl er in het verleden dankbaar gebruikgemaakt werd van strooilicht, zorgt de lens van een led-armatuur voor hardere contrasten op het veld. Het voornoemde effect wordt overigens versterkt doordat bij led-verlichting de overdimensionering beperkt is of wordt, waar in het verleden gekozen werd voor lampen uit een standaardreeks met soms aanzienlijke overdimensionering.

Doordat in het ontwerp het aantal leds (de lumenstroom) en de toe te passen lens per armatuur wordt vastgesteld en de overdimensionering dus wordt geminimaliseerd, zal in de praktijk een aanpassing van de geplande mastpositie mogelijk leiden tot discussie over de gerealiseerde lichtkwaliteit en de veranderde beleving van de verlichting. Deze verandering wordt versterkt door het steeds vaker ontbreken van strooilicht. Tevens blijkt in de praktijk dat de toepassing van kunstgras vaak ook min of meer bijdraagt aan de beleving van led-verlichting. Te denken valt aan de "vleug" van de kunstgrasmat, die het idee geeft van donkere vlekken waar normale lichtsterkten gemeten worden.

Om voornoemde effecten te beperken, is het van belang rekening te houden met onderstaande zaken:

1) Mastafstand

De opstelling van masten dient zo veel mogelijk exact vastgesteld te worden. Dit neemt niet weg dat bij nieuwbouw altijd rekening gehouden moet worden met het beperkt verplaatsen van de mast. Te denken valt aan een verplaatsing tot 1 meter.

2) Bepalen lichtniveau tijdens ombouw op bestaande masten

Led-verlichting wordt ingekocht op een gewenste lichtstroom (in lumen), wat wordt vertaald naar het aantal armaturen in het ontwerp. Een ontwerper kan tot op twee cijfers achter de komma zaken doorrekenen en realiseren. In de praktijk kan dit leiden tot de situatie dat de nieuwe verlichting aanzienlijk minder licht geeft dan de verwijderde overgedimensioneerde verlichtingsinstallatie.

Hierbij wordt opgemerkt dat bij toepassing van ledverlichting in beginsel minder lumens benodigd zijn dan bij toepassing van conventionele armaturen. Dit vanwege de kwaliteit van het optische ontwerp (lenzen) waardoor het uitgestraalde licht efficiënter gebruikt wordt. Belangrijk is overigens om te melden dat alleen de uitgestraalde hoeveelheid lumens bruikbaar zijn! In elk armatuur ontstaan altijd in meer of mindere mate verliezen. Het is dan ook van belang om te verifiëren of dat de opgegeven lumens uitgestraalde, effectieve, lumens zijn of een vermenigvuldiging van theoretische lumens en het aantal leds. Dit komt helaas in gevallen voor.

Tot slot is het van belang om te realiseren dat een perfect armatuur wat op verkeerde manier doorgerekend wordt en/of op verkeerde manier geplaatst wordt ook resulteert in een slechte verlichting.



BEHOUDFACTOR

5

Omdat elk type verlichting in de loop van tijd minder licht geeft door veroudering en vervuiling, wordt in het ontwerp rekening gehouden met deze optredende lichtterugval door een correctie uit te voeren op de benodigde (berekende) hoeveelheid licht. Deze correctiefactor in een berekening wordt "behoudfactor" genoemd.

Om vast te stellen welke behoudfactor toegepast dient te worden, is het van belang vast te stellen welke zaken in deze behoudfactor worden opgenomen. Standaard worden onderstaande uitgangspunten opgenomen.

- Lichtterugval van de lichtbron zelf (lumendepreciatie);
- Lichtterugval door veroudering materialen;
- Lichtterugval door vervuiling uit de omgeving;
- Lichtterugval door uitval van de lichtbron / de armatuur.

Omdat op sportvelden defecte armaturen leiden tot ongelijkmatigheid en in veel gevallen een te laag lichtniveau, dient uitval van verlichting niet opgenomen te worden in de vaststelling van de toe te passen behoudfactor.

In de praktijk blijkt dat het grootste effect ontstaat door de lichtterugval van leds in de loop van de tijd en door vervuiling van de armatuur. Door voornoemde zaken te combineren tot een behoudfactor, wordt onderstaande formule toegepast.

De uitval van lichtbronnen is opgenomen in de Led-lumendepreciatie (LLD). Zie voor toelichting paragraaf 6.3.

Behoudfactor (BF) = LLD * AVD

Met:

LLD: Led-lumendepreciatie

AVD: Armatuur-vervuilingdeprecieatie

Bovengenoemde termen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

5.1 VASTSTELLEN BEHOUDFACTOR

Er bestaat voor led-verlichting (nog) geen definitieve richtlijn voor het bepalen van een standaard-behoudfactor. Het bepalen van deze factor is lastiger dan bij conventionele lichtsystemen. De eigenschappen van de afzonderlijke onderdelen van een led-systeem bepalen de prestatie van het gehele systeem.

Praktijk

In de praktijk blijkt dat veel fabrikanten en ontwerpers van led-verlichting verschillende uitgangspunten hanteren voor het maken van lichttechnische ontwerpberoeeningen. Hierdoor is het maken van een eerlijke vergelijking van producten in veel gevallen niet (direct) mogelijk.

Doelstelling

Vooruitlopend op mogelijke nieuwe Europese of internationale richtlijnen, biedt dit document een handvat voor het maken van lichttechnische berekeningen op basis van ledsystemen. In onderstaande paragrafen worden diverse uitgangspunten beschreven.

Afwijken van een voorgestelde waarde of uitgangspunt is alleen toegestaan in overleg met de opdrachtgever!

5.2 UITGANGSPUNTEN BEHOUDFACTOR

Led-lumendepreciatie (LLD)

Om onduidelijkheid en discussie over de levensduurverwachting en LLD van ledsystemen te voorkomen, worden onderstaande punten als uitgangspunt gehanteerd.

- 1) De aangegeven levensduur van ledsystemen dient altijd aangevuld te zijn met de bijbehorende $L_x B_y$ -waarde en de maximale T_q -waarde. De C_z -waarde wordt niet meegenomen in de berekening.
- 2) De aangegeven T_q -waarde is de maximale omgevingstemperatuur van het led-systeem dat in bedrijf is.

Indien deze gegevens compleet zijn, wordt voor de berekening van de behoudfactor de L_x -waarde aangehouden voor de LLD.

Voorbeeld: L98 B50 over 40.000 uur ($T_q \geq 25$ graden Celsius).

Als LLD wordt nu L98, dus 0,98 gehanteerd.

Lichterugval door veroudering materialen

In de praktijk worden de leds beschermd achter een afscherming in de armatuur. Vanwege de te behalen technische levensduur (20 jaar) wordt in veel gevallen gebruikgemaakt van een glazen afscherming. Een en ander is afhankelijk van de vormgeving van de armatuur.

Omdat glas niet verouderd en er dus geen lichtdepreciatie ontstaat, heeft het toepassen van glas geen effect op de LLD en dus op de behoudfactor.

Lichterugval door armatuur-vervuilingdepreciatie (AVD)

Vervuiling van armaturen is niet onder alle omstandigheden eenvoudig vast te stellen en leidt in de praktijk vaak tot discussie. Duidelijk is dat vervuiling sterk afhankelijk is van de toegepaste lichtsoort (spectrale distributie van de lichtbron), het armatuurtype, de montagehoogte, de plaats etc. In stedelijke gebieden zal meer vervuiling ontstaan door bijvoorbeeld insecten; langs een drukke ringweg zal meer vervuiling optreden door de uitstoot van het verkeer. Een en ander is afhankelijk van de lichtpunthoogte, de toegepaste lichtbron, de uitvoeringsvorm van de armatuur en de locatie.

In de praktijk blijkt dat klimmasten met een frequentie van één keer per jaar of één keer per twee jaar geïnspecteerd moeten worden bij aanwezigheid van een kliminstallatie. Tijdens deze inspectie wordt in de meeste gevallen de ruit van de armaturen schoongemaakt. Dit geldt voor elke armatuur,

conventioneel of led. Bij standaard-lichtmasten zonder klimvoorziening wordt onderhoud gepleegd met behulp van een hoogwerker. In de praktijk blijkt dan dat het schoonmaken alleen uitgevoerd wordt als dit nodig is. Een en ander is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en de inhoud van de overeenkomst met de aannemer die het onderhoud uitvoert.

Men kan zich afvragen of schoonmaken voordeel oplevert ten opzichte van niet schoonmaken, in de wetenschap dat de ruit altijd vervuult. De vraag is alleen in welk tijdsbestek de ruit vervuult tot een niveau waarop de vervuiling zich stabiliseert.

Omdat niet bekend is hoe snel de ruit vervuult in de loop van de tijd en omdat dit ook sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden, wordt geadviseerd om in beide gevallen een lichtterugval van 6% aan te houden. Natuurlijk is het altijd mogelijk om een lager percentage aan te houden als de ruiten regelmatig schoongemaakt worden.

5.3 SAMENVATTING BEHOUDFACTOR

De toe te passen behoudfactor is primair afhankelijk van de lichtterugval van de leds en de optredende vervuiling en veroudering. De lichtterugval die wordt aangehouden, is afhankelijk van de door de fabrikant aan te geven $L_x B_{50}$ -curve bij een aantal op te geven bedrijfsuren.

Behoudfactor (BF) = LLD * AVD

Met:

LLD: Te bepalen door middel van $L_x B_y$ -waarde

AVD: Standaard 6%

Voorbeeld: Gegeven is een levensduur van 40.000 branduren met L98B50 en $T_q \geq 25$ graden Celsius. De behoudfactor wordt nu als volgt berekend:

$$BF = LLD * AVD = 0.98 * 0.94 = 0,92$$

5.4 CORRECTIE LICHTTERUGVAL BIJ KORTERE LEVENSDUUR DAN AANGEGEVEN

Omdat niet in elk ontwerp wordt gerekend met een levensduur van 40.000 uur, is het toegestaan om een aangepaste LLD uit te rekenen op basis van onderstaande formule.

$$LLD = 1 - ((\text{aan te houden levensduur/opgegeven levensduur}) * \text{lichtterugvalwaarde led-systeem})$$

Voor L98 bij 20.000 uur geldt in dit geval:

$$LLD = 1 - ((20.000 / 40.000) * (2 / 100)) = 0,99$$

Het gebruik van een bekend led-systeem in een andere armatuurbehuizing of applicatie betekent niet per definitie dat dezelfde behoudfactor kan worden toegepast. Dit dient per project of applicatie te worden beoordeeld.

5.5 OPGENOMEN ELEKTRISCH VERMOGEN LED-SYSTEEM

Omdat het led-systeem mogelijk gedimd wordt, moet rekening gehouden worden met het ontwerpen van een kabelnet (nieuwe installaties). Uitgangspunt is dat het maximaal opgenomen vermogen (systeemvermogen) wordt aangehouden bij de berekening van het kabelontwerp.

Bij bestaande verlichtingsinstallaties zal in veel gevallen het opgenomen elektrisch vermogen, bij een gelijk aantal armaturen, verlaagd worden. Op basis hiervan hoeft het bestaande kabelnet niet opnieuw doorgerekend en/of vervangen te worden. Desondanks wordt dringend geadviseerd om een en ander voorafgaand aan de ombouw te laten controleren.





LICHTHINDER – LICHTVERVUILING

Bij de introductie van verlichting op sportvelden ontstond ook discussie over het nadelig effect van verlichting op de directe omgeving. In eerste instantie is te denken is aan lichthinder voor omwonenden, lichtvervuiling (sky-glow) en verblinding van bijvoorbeeld weggebruikers. Lichtvervuiling en lichthinder voor flora en fauna moeten echter ook niet worden vergeten.

Lichthinder is de overlast die wordt veroorzaakt door kunstlicht; als regelrechte verblinding, als versturende factor bij het verrichten van avondlijke of nachtelijke activiteiten of als bron van onbehagen.

Lichtvervuiling is de verhoogde helderheid van de nachtelijke omgeving door overmatig en verspillend gebruik van kunstlicht. Anders gezegd: lichtvervuiling is een wijziging van het lichtniveau in de buitenlucht als gevolg van kunstmatige verlichting.

Om lichthinder en lichtvervuiling zo veel mogelijk te voorkomen, dient tijdens de ontwerpfase van een verlichtingsinstallatie rekening gehouden te worden met nadelige effecten. Deze effecten worden sterk verminderd door het gebruik van geschikte armaturen, die vooral ook op een juiste wijze moeten worden aangebracht.

Dit wil overigens niet zeggen dat sterk afgekapte verlichting de oplossing is om lichthinder en lichtvervuiling te voorkomen!

Door het afkappen van het uitgestraalde licht ontstaat een sterk contrast tussen verlicht en onverlicht, met als gevolg een onnatuurlijke beleving van de verlichting. Op het veld is alles duidelijk zichtbaar, maar net naast het veld is alles donker en niets waar te nemen. Een zekere hoeveelheid strooilicht kan wenselijk en acceptabel zijn!

De toepassing van hoge tilthoeken op het veld wordt vaak gezien als de enige oplossing om het licht over een grotere afstand te verspreiden. Het

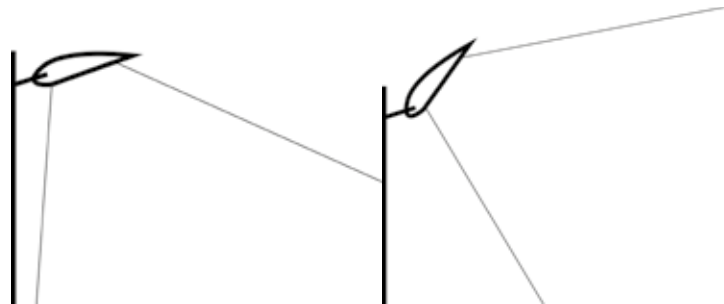
is echter beter om andere lenzen te zoeken die het licht verder naar voren uitstralen onder lagere tilthoeken, en/of meer masten of armaturen toe te passen.

Bijplaatsen van masten of armaturen op bestaande masten blijkt niet altijd wenselijk of mogelijk. Vaak zal een compromis gezocht worden tussen goede verlichting en lichthinder/verblinding.

Omdat lichthinder en lichtvervuiling zo veel mogelijk voorkomen moeten worden, heeft de NSVV een publicatie opgesteld (Richtlijn lichthinder [2015]). In deze publicatie wordt een en ander toegelicht en worden grenswaarden voor lichthinder en lichtvervuiling gegeven.

6.1 VERBLINDINGSWAARDE (VW)

De verblindingswaarde (VW), zoals opgenomen in diverse normen voor sportveldverlichting, wordt rekenkundig bepaald. Om deze waarde te kunnen berekenen, wordt de waarneembare lichtintensiteit uit elk armatuur beoordeeld in relatie tot de gerealiseerde luminantie van het (sport)veld. In het algemeen wordt aangehouden dat een VW 10 zeer laag is (niet waarneembaar); dit loopt op tot VW 90 (ondragelijk/onprettig). De in de normen voor sportveldverlichting opgenomen VW 50-55 wordt gezien als de maximaal toelaatbare waarde. De ervaring leert dat lagere VW-waarden wenselijk zijn, maar niet altijd te realiseren.



Lage tilthoek, lage VW-waarde, lage verblinding.

Hoge tilthoek, hoge VW-waarde, veel verblinding.

De aan te houden VW-waarde die maximaal toelaatbaar is op sportvelden is bepaald aan de hand van onderzoeksresultaten uit de jaren 80. Dit onderzoek heeft het mogelijk gemaakt om de montagehoogte van de schijnwerpers te minimaliseren zonder kans op verblinding. Deze kennis was nodig vanuit kostenoverwegingen. Tot dat moment was het standpunt dat hoge lichtmasten toegepast dienden te worden om het licht zo veel mogelijk loodrecht van boven op het sportveld te richten om verblinding te voorkomen. Na het verschijnen van de VW-waarde konden lagere lichtmasten toegepast worden, waarbij de schijnwerpers meer “getild” toegepast worden.

Anno 2015 is het de vraag of deze berekening nog steeds op basis van dezelfde uitgangspunten gemaakt moet worden, en of we eisen moeten stellen aan de reflectie-eigenschappen van het te berekenen veld. De reflectie-eigenschappen van de diverse soorten kunstgrasvelden, gekleurde velden etc. verschillen aanzienlijk van de reflectie-eigenschappen van een grasmat.

Er wordt tot op heden geen standaard aan te houden reflectie aangegeven in de verlichtingseisen voor sportvelden.



Verskil tussen schijnwerper en led armatuur



LICHTMASTEN VOOR SPORTVELDVERLICHTING

Elke (licht)mast dient aantoonbaar te voldoen aan de NEN-EN 40 of aan de Eurocode (afhankelijk van de nominale mastlengte en uitvoering). De Nederlandse norm is gekoppeld aan de Europese norm en bindend opgenomen in het Bouwbesluit (wet) binnen Nederland.

Onderstaande paragrafen gaan in op de berekening van lichtmasten, de toepassing van lichtmasten in de praktijk en vooral de voorwaarden om een ombouw naar led-verlichting op bestaande lichtmasten langs sportvelden door te kunnen voeren.]

7.1 WAT IS EEN LICHTMAST

Volgens NEN-EN 40-1 is een (licht)mast bestemd voor het dragen van één of meer verlichtingsarmaturen (verkorte definitie). Een verlichtingsmast langs een sportveld is in die zin ook een lichtmast zoals opgenomen in de NEN-EN 40-reeks.

Binnen de norm vallen paaltopmasten tot 20 meter hoogte en lichtmasten met uithouders tot en met 18 meter lichtpunthoogte. Masten die hoger zijn of uithouders hebben boven 18 meter lichtpunthoogte, vallen buiten NEN-EN 40 en moeten voldoen aan de Eurocode.

7.2 PRODUCTIE LICHTMASTEN

In NEN-EN 40 is opgenomen dat elke lichtmast die volgens deze norm geproduceerd en verkocht wordt, moet voldoen aan de in de norm opgenomen eisen. Met name de veiligheidseisen maken een belangrijk deel uit van de norm. Zo dient elke lichtmast voorafgaand aan productie door middel van een vastgesteld programma sterkte technisch doorgerekend te worden. Voorkomen moet worden dat onder ongunstige omstandigheden hogere materiaalspanningen in de lichtmast ontstaan dan toegestaan.

Zaken zoals de windsnelheden op de locatie, de inrichting van het terrein (open of bebouwd gebied) en belastingfactoren, in combinatie met de toe te passen lichtpunthoogte, het aantal armaturen dat geplaatst moet worden en het bijbehorend gewicht en geprojecteerd oppervlak, vermenigvuldigd

met de vormfactor (vaak C_{xs} of C_{xA} genoemd), bepalen of een lichtmast langs een sportveld voldoet aan NEN-EN 40. Elke lichtmast is in die zin uniek per project.

Omdat fabrikanten van lichtmasten voor sportveldverlichting bekend zijn met de standaardproducten die toegepast worden, zijn tot nu toe veel lichtmasten "standaard" uitgerekend leverbaar. Te denken valt aan lichtmasten met een lichtpunthoogte van 12, 15 en 18 meter, waarop één, twee of drie armaturen geplaatst kunnen worden in drie gebieden binnen Nederland. Deze diversiteit kan tot drie maal drie maal drie is 27 verschillende standaardmasten leiden!

Op deze masten is veelal gerekend met een conventionele gestroomlijnde schijnwerper, waarvan het gewicht en geprojecteerd oppervlak bekend is. Te denken valt aan een C_{xs} van 0,12 bij een gewicht van maximaal 20 kilogram. De tot op heden verkochte led-armaturen bestaan vaak uit grote en redelijk rechthoekige vormen, die hierdoor een hogere C_{xs} -waarde hebben (0,25-0,35 m^2) en in veel gevallen ook een hoger gewicht.

Met name het geprojecteerd oppervlak, vermenigvuldigd met de vormfactor (C_{xs}), en de tilhoek waaronder de armatuur geplaatst wordt, zijn bepalend voor de op de lichtmast optredende uitbuiging onder windlast en de hierdoor optredende spanningen in het materiaal.

7.3 DE PRAKTIJK

Veel beheerders van lichtmasten zien in de praktijk geen verschillen tussen lichtmasten en zijn zich niet bewust van het risico dat gelopen wordt als armaturen bijgeplaatst dan wel vervangen worden. In bijna alle gevallen zal de vervanging van armaturen door led-armaturen leiden tot een verhoging van de materiaalspanning in de lichtmast.

Het overbelasten van lichtmasten tot boven de maximaal toegestane materiaalspanning, heeft op termijn blijvende gevolgen voor de lichtmasten. Te denken valt aan haarscheuren en in voorkomende gevallen scheuren

LICHTMASTEN VOOR SPORTVELDVERLICHTING

bij de mastdeur of op maaiveldniveau. Uiteindelijk bestaat de kans dat de lichtmast bezwijkt en omvalt, met alle gevolgen van dien.

De geschiktheid van de mast kan bepaald worden door de meettechniek van Rei-Lux. Als onafhankelijk meetbedrijf, heeft Rei-Lux haar meettechniek verder uitgebreid om sterkte berekeningen uit te voeren speciaal voor sportveld verlichtingsmasten. Door deze 3D-meettechniek in combinatie met sterkte berekeningen, is Rei-Lux in staat om te bepalen of de mast geschikt is voor het plaatsen van led-armaturen.

Nadat er een statische 3D-meting succesvol is uitgevoerd, wordt een rotatie generator op een van te voren vastgestelde hoogte aan de mast bevestigd. Door middel van een 3D-rotatiemeting wordt er naar de frequentie van het object gezocht en wordt de resonantie en het gedrag van de mast uiterst nauwkeurig gemeten (1/1000ste mm) door een 3D-meetcamera.

Aanvullend op de 3D-metingen worden berekeningen uitgevoerd om te kunnen bepalen wat het weerstandsmoment tegen buiging is van de desbetreffende mast met de huidige armaturen en vervolgens de led-armaturen. Het komt voor dat er na een meting een code B of zelfs een code C moet worden gegeven. Bij een code B krijgt de mast een garantie van 6 maanden en het advies om de mast binnen de genoemde periode te vervangen. In geval van een potentieel gevaarlijke mast, krijgt de mast een code C wat betekent direct verwijderen.

De Rei-Lux 3D-meettechniek geeft uitsluitel over de veiligheid van de mast en met name of de mast voldoende is gedimensioneerd. Bij goedkeuring ontvangt men een garantie voor een periode van 5 jaar. Naast de garantie is Rei-Lux in staat om vanuit de metingen een levensduurverwachting af te geven tot wel 15 jaar.

Wanneer de mast niet vervangen hoeft te worden, hoeven aanvullende investeringen niet gedaan te worden hetgeen grote financiële besparingen

oplevert. Niet elke led-armatuur is lichter dan een conventionele armatuur. Integendeel: de meeste led-armaturen zijn zwaarder dan conventionele armaturen, omdat slechts weinig fabrikanten erin slagen om het gewicht van de benodigde technologie laag te houden.

Bij een één op één vervanging kan, qua gewicht, vaak worden volstaan met de bestaande mast mits dat uit de metingen en berekeningen blijkt dat de mast voldoende is gedimensioneerd.

Belangrijker is dat er gekeken wordt naar de windvang. Zolang het windoppervlak van het led-armatuur in combinatie met het gewicht niet groter is dan de huidige armatuur, kan de Rei-Lux meettechniek uitsluitel geven of de huidige mast gehandhaafd kan worden. Voorwaarde is wel dat deze nog van goede kwaliteit is. Ook dit wordt bepaald door de Rei-Lux meettechniek.

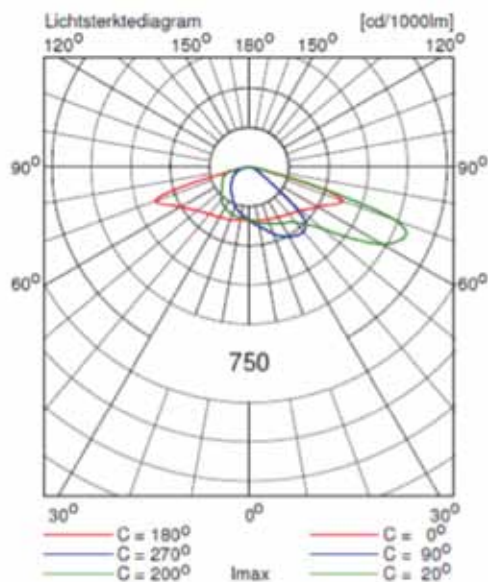


AAN TE LEVEREN BEREKENING

8.1 ALGEMEEN

Voordat een armatuur in een lichttechnische berekening opgenomen kan worden, moet elk armatuur in een goniometer ingemeten worden. Het resultaat van deze meting is een zogeheten I-tabel, die grafisch weergegeven wordt in een lichtsterkediagram (zie voorbeeld).

Wetende dat elk armatuur lichttechnisch ingemeten wordt op een goniometer (I-tabel) leidt direct tot de vraag of een samengesteld armatuur als één geheel gemeten wordt of dat de afzonderlijke ledmodules ingemeten worden. In het eerste geval wordt er dus één geheel ingevoerd in de rekensoftware. In het andere geval moet elke ledmodule apart ingevoerd worden. Uiteraard geldt dit ook voor het uitrichten na installatie!



Figuur 14: Lichtsterkediagram

Of het uiteindelijk één armatuur is of acht armaturen, maakt op zich niet uit, als maar duidelijk is hoe de fotometrische data (I-tabel) ingewonnen zijn. Hierdoor wordt ook duidelijk of het geheel als één armatuur gericht moet worden! Het narichten van individuele modules is niet zonder meer mogelijk zonder kennis van de door de fabrikant gehanteerde uitgangspunten en broninformatie.

In de praktijk blijkt in enkele gevallen dat men zich na het uitrichten van losse ledmodules niet realiseert wat volgens de berekening wel kan. De reden hiervoor kan zijn dat de lichtbundels van ledmodules afgeschermd worden door voorliggende ledmodules.

8.2 LICHTTECHNISCH

Om in de praktijk te kunnen toetsen of een lichttechnisch ontwerp voldoet aan vigerend beleid en om mogelijke problemen tijdens de realisatie te voorkomen, dient elk lichttechnisch ontwerp te worden doorgerekend op basis van een zogeheten gebiedsberekening (area-berekening).



8 ledmodules worden als 1 armatuur berekend en op locatie niet na-gericht per module.

In dit soort berekeningen kan een plattegrond als onderlegger gebruikt worden.

Alle rekenresultaten dienen aan de opdrachtgever ter controle aangeboden te worden en minimaal te bestaan uit:

1) Voorblad, voorzien van samenvatting uitgangspunten berekeningen.

Te denken valt aan:

- Uitgangspunt lichtberekening.
- Informatie over toegepaste LxBy-waarde, Tq en levensduur led-systeem.
- Toegepaste behoudfactor inclusief korte onderbouw.
- Informatie over ontwerper.

2) Informatie gebruikte armaturen.

3) Informatie toegepaste rekengebieden.

4) Informatie toegepaste rekenrasters.

5) Informatie over eventueel opgenomen waarnemers buiten het veld (berekening lichthinder).

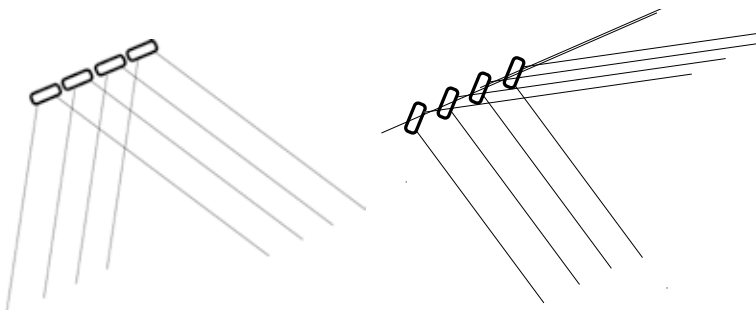
6) Inplanting toegepaste armaturen.

7) Rekenresultaat.

8) Opgenomen hoeveelheid elektrische energie (systeemvermogen).

8.3 LICHTMASTEN

In NEN-EN 40 is opgenomen dat van elke lichtmast die ontworpen en geproduceerd wordt gegevens in archief gehouden moeten worden (tekeningen en berekeningen). Om eventuele aanpassing in de toekomst mogelijk te maken, wordt dringend geadviseerd om bij de levering van masten deze ontwerptekeningen en berekeningen op te vragen! Uit deze berekening is duidelijk op te maken voor welk maximaal gewicht en maximaal geprojecteerd oppervlak de betreffende lichtmast geschikt is.



Figuur 16: Optimaal rendement multilayer-ledmodules.

AAN TE LEVEREN DOCUMENTATIE

Van elk type led-armatuur dat toegepast wordt binnen een project, moet onderstaande informatie door de betreffende leverancier worden aangeleverd in de vorm van documentatie.

- Systemvermogen in W.
- Initiële lichtstroom in lm (systeem) en effectieve lichtstroom.
- Systemefficiëntie in lm/W (lumen uit de armatuur / systeemvermogen).
- Lichtdistributie (multilayer, spot, spiegel etc.).
- Toegepast lenstype/optiek.
- Isolijnen diagram (I-tabel digitaal beschikbaar).
- Kleurtemperatuur in Kelvin.
- Kleurweergave Index in CRI.
- Levensduur led-systeem in uren in combinatie met lumendepreciatie en uitval ($L_x B_y C_z$).
- Maximale bedrijfstemperatuur led-systeem ($T_q \geq 25$ graden Celsius).
- Powerfactor nominaal en bij gewenst dimniveau ($> 0,85$).
- Toegepaste dim-unit (indien van toepassing) inclusief geprogrammeerde dim-instelling(en) om verlichting op gewenst nominaal niveau in te stellen.
- Bedrijfsstroom toegepaste leds.
- Elektrische veiligheidsklasse (klasse I).
- IP-classificatie (minimaal IP 65).
- Gewicht led-systeem.
- Windvangend oppervlak (geprojecteerd oppervlak) onder diverse tilthoeken.
- Oppervlakbehandeling led-armatuur.
- Toegepaste materialen behuizing, componenten.
- Aanwezigheid keurmerken en CE-markering.

Indien er twijfel bestaat over de juistheid van de geleverde informatie, kan worden besloten dat een model van de betreffende armatuur geleverd dient te worden voor het uitvoeren van een quickscan.

Tijdens deze quickscan zal door een onafhankelijke partij onderzocht worden of de aangegeven specificaties correct zijn. De eventuele onderzoekskosten worden gemeld en op basis van 'gelijk-ongelijk' verrekend met de betreffende opdrachtnemer en/of leverancier.

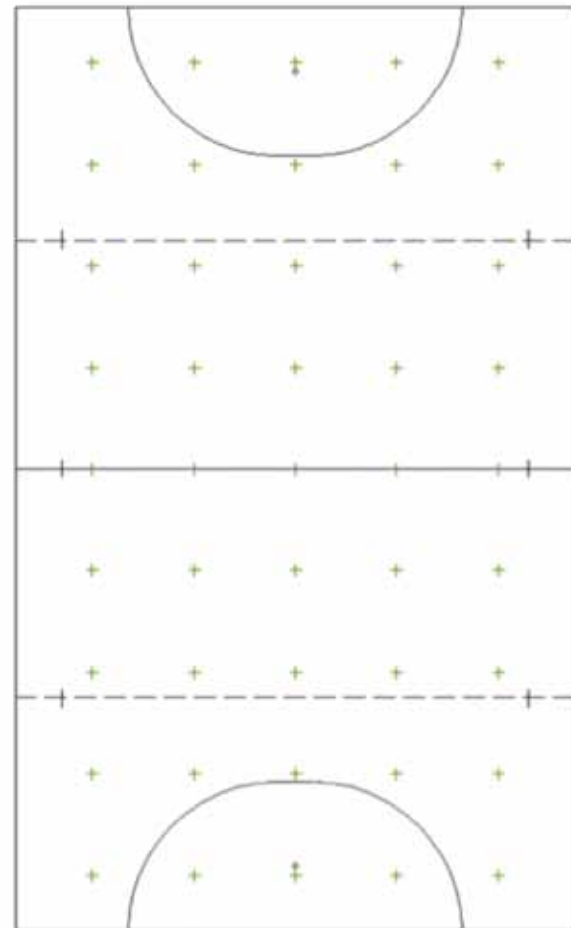
Uitgangspunt hierbij is dat de te onderzoeken armatuur in eigendom overgaat naar de opdrachtgever.

METEN IS WETEN

Meten is weten; meten is dus altijd de enige manier om vast te stellen of de gewenste verlichtingskwaliteit gerealiseerd is. Voor het meten van sportvelden wordt in beginsel gebruikgemaakt van de meetrasters en procedure zoals opgenomen in diverse sportspecifieke publicaties. Deze publicaties zijn te verkrijgen bij de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV).

Voor het uitvoeren van de meting is speciale apparatuur benodigd, die op vastgestelde posities op het veld (meetraster 10 x 10 meter) de aanwezige horizontale verlichtingssterkte (lux-waarde) meet. Na het inwinnen van alle meetdata wordt vastgesteld of de minimale gemiddelde luxwaarde, berekend over alle meetpunten, behaald wordt zoals aangegeven in de betreffende verlichtingsnorm. De aanwezige gelijkmatigheid van de verlichting wordt berekend door de laagst gemeten luxwaarde te delen door de berekende gemiddelde waarde. Ook de te behalen minimale gelijkmatigheid wordt beschreven in de betreffende verlichtingsnorm.

De in de berekening aan te tonen verblindingswaarde (VW) is NIET te meten!



Figuur 18: Meetraster 10 x 10 meter.

SUBSIDIE

11

Voor sportverenigingen zal per 1 januari 2016 een nieuwe subsidieregeling starten, die verenigingen ondersteunt bij investeringen in energiebesparing. De Subsidieregeling Energiebesparing Sportverenigingen zal naar verwachting minimaal vijf jaar ondersteuning bieden voor met name grote verduurzamingsinvesteringen, zoals led-verlichting op sportvelden.

De reden voor het invoeren van de subsidieregeling is dat uit onderzoek door AgentschapNL en NOC*NSF in 2013 is gebleken dat er twee samenhangende belemmeringen zijn, waardoor de verduurzaming van sportaccommodaties niet volledig van de grond komt.

- Veel energiebesparende maatregelen vergen grote investeringen met een lange terugverdientijd, waardoor de investeringsbeslissing vaak negatief uitvalt.
- Veel sportverenigingen en andere eigenaren van sportaccommodaties hebben geen of onvoldoende financiële middelen. Het verkrijgen van een lening is moeilijk, omdat het om een grote investering gaat in combinatie met een lange terugverdientijd.

1.1.1 SAMENVATTING SUBSIDIEREGELING

Sportverenigingen en sportstichtingen met een eigen sportaccommodatie die zijn aangesloten bij NOC*NSF, kunnen voor investeringen in energiebesparing of duurzame energie gebruikmaken van deze subsidieregeling.

Het is mogelijk dat een subsidieaanvraag door een intermediair namens een sportvereniging of sportstichting wordt ingediend. Hierbij kan gedacht worden aan een collectieve subsidieaanvraag door een sportbond voor bij die sportbond aangesloten sportverenigingen. De subsidie komt direct terecht bij de sportvereniging.

De hoogte van de subsidie is een percentage van de subsidiabele kosten. De subsidiabele kosten bestaan uit de kosten voor de aanschaf van de installatie of apparatuur; arbeidskosten zijn niet subsidiabel. Het subsidiepercentage voor sportverenigingen bedraagt 30 procent en voor sportstichtingen 15

procent. Dit verschil is te verklaren doordat rekening is gehouden met de btw-plicht.

Er kan maximaal 125.000 euro subsidie per aanvrager per jaar worden aangevraagd. Subsidieaanvragen waarbij de subsidiabele kosten minder bedragen dan 3.000 euro komen niet in aanmerking.

Zie ook <http://sport.nl/mijnclub> voor meer informatie.

BIJLAGE A

CHECKLIJST KWALITEIT LED-SYSTEEM

Van elk type led-armatuur dient op verzoek te worden aangetoond hoe wordt voldaan aan de in dit document opgegeven uitgangspunten.

Het uitgangspunt is: als op onderstaande vragen het gewenste antwoord kan worden gegeven, is de kans op de toepassing van mindere producten minimaal.

Vraag	Gewenst antwoord
Hoe is de levensduur van de armatuur gedefinieerd?	<ul style="list-style-type: none"> • $L_{x,y}$-waarde (40.000 L80B10) • Maximale uitval over 40.000 uur = 5% • Opgegeven levensduur dient behaald te worden bij een maximale bedrijfstemperatuur van 25 graden Celsius.
Wat is de Ra-waarde van de toegepaste leds?	≥ 60
Hoe wordt het licht verspreid?	Multilayer per armatuur of led-module
Dimbaar?	Flexibel dimschakelsysteem (optioneel)
Flikkerfrequentie /stroboscopisch lichtbeeld	Tot 30% lichtniveau (gedimd) mag geen visuele flikkering /stroboscopisch effect in het led-systeem zichtbaar zijn.
Systeemvermogen	Op te geven systeemvermogen: <ul style="list-style-type: none"> • nieuwe installatie • einde technische levensduur
Power factor (Cosinus Phi inclusief effect van hogere harmonischen)	Niet lager dan 0,85 (ook bij het gewenste dimniveau)
Optisch risico	Groep 0
Elektrische klasse	Klasse 1
IP classificatie led-systeem	Minimaal IP 65
Keurmerk armatuur	Erkend keurmerk
Inschakelverschijnselen	De inschakelverschijnselen van een led-systeem dienen beperkt te worden tot op een niveau, waarbij de kans op uitschakeling van de (led)verlichtingsgroep achter een standaard-elektrotechnische veiligheid (D-patroon of Installatieautomaat met een B-karakteristiek) minimaal is.
Betrouwbare partner/leverancier	
Documentatie	Documentatie moet beschikbaar zijn om "appels met appels" te kunnen vergelijken.
Naleverbaarheid	De ontwikkeling van leds gaat zeer snel, waardoor het vervangen van armaturen door exact dezelfde vorm en configuratie niet altijd mogelijk is.
Lichtmasten	Voldoen aantoonbaar aan NEN-EN 40
Elektrische installatie	Voldoet aantoonbaar aan NEN1010

Tabel 1 Checklijst kwaliteit led-systeem.

Bronvermelding fotografie

Philips: Pag. 1, 9, 13, 22, 32

AAA-Lux: Pag. 10, 28, 30

Lumosa: Pag. 24, 27

Voor inhoudelijke vragen en opmerkingen over dit document kunt u contact opnemen met diverse specialistische adviseurs op het gebied van sportveldverlichting. Ik ga ervan uit dat dit document bij elke significante ontwikkeling van leds, leddrivers en ledsystemen aangevuld wordt, om zo de status te bereiken van 'hét naslagwerk' op het gebied van led-verlichting op sportvelden.

Verder bedank ik iedereen die actief bijgedragen heeft tijdens het gehele proces van inhoudelijk overleg, het schrijven, het leveren van bronmateriaal en tot slot het opmaken van dit naslagwerk. Zonder hen was deze publicatie niet geschreven in deze vorm en in dit tijdsbestek.

Toine Adams

toine@toineadams.nl

+31 683236501

Led-verlichting op het (amateur) sportveld is mogelijk gemaakt dankzij:

TOINE ADAMS ADVIES

REILUX

Fieldmanager