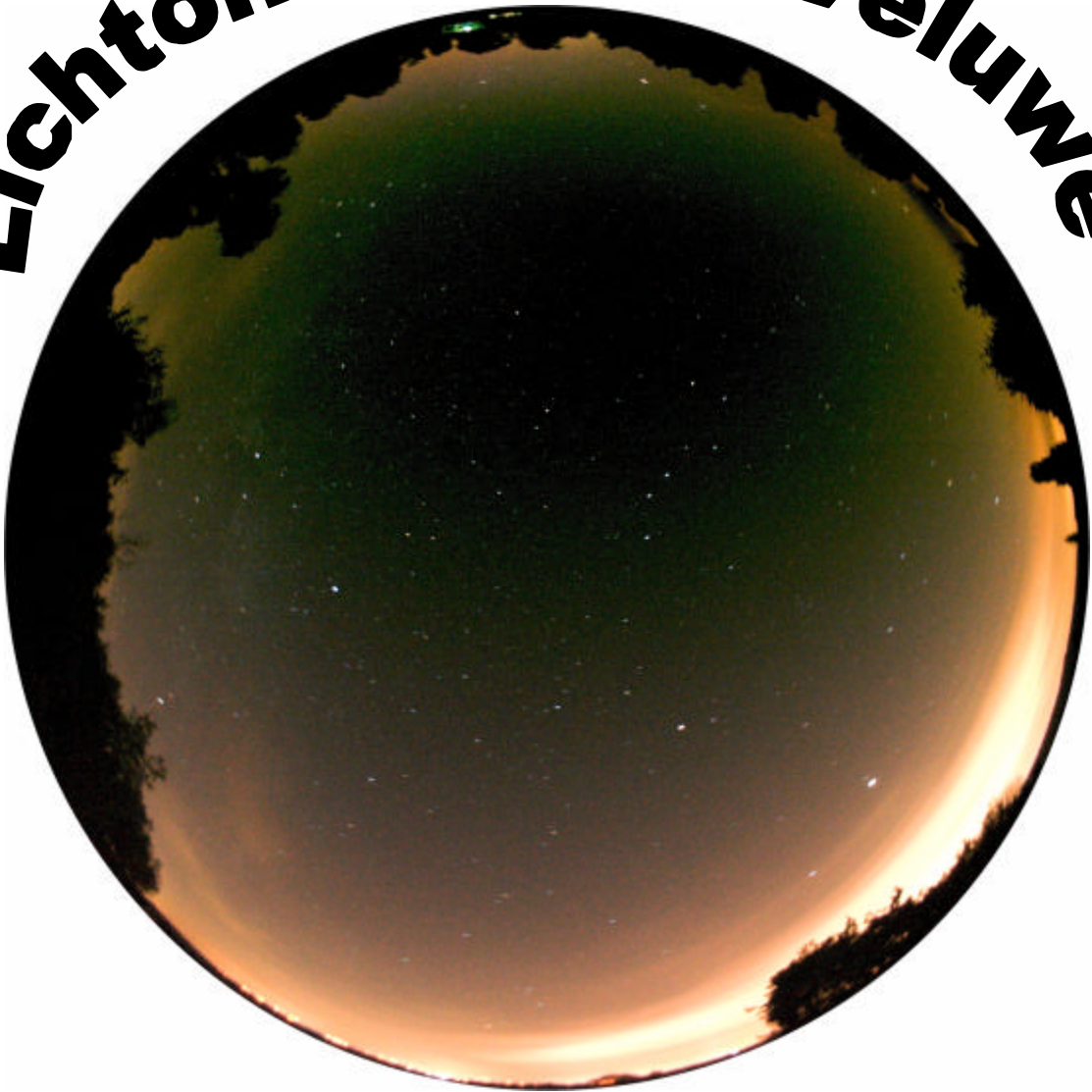


# Lichtonderzoek Veluwe



Mei 2005

# Lichtonderzoek Veluwe

In opdracht van de provincie Gelderland

Onderzoek naar de situatie van verlichting  
en duisternis op de Veluwe.

Uitgevoerd door onderzoeks- en  
adviesbureau Sotto le Stelle tussen  
november 2004 en mei 2005.

Alle afbeeldingen copyright Sotto le Stelle



Voorpagina: Nachtelijke hemel op de Posbank

# Inhoudsopgave

<i>Inhoudsopgave</i> .....	3
<i>Opdracht</i> .....	4
<b>1 Licht en duisternis</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 Dosis effect relatie</b> .....	<b>5</b>
<b>1.2 Werkwijze</b> .....	<b>5</b>
1.2.1 Kernen .....	6
1.2.2 Buitengebied .....	6
1.2.3 Hemelhelderheid .....	6
<b>2 Openbare verlichting</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Verwerken van de geleverde data</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 Transformatie van de data</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Opmerkingen</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Conclusies</b> .....	<b>9</b>
<b>2.5 Geografische verspreiding</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Overige verlichting, hotspots</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Procedure</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Opmerkingen</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3 Kassen</b> .....	<b>13</b>
<b>4 Hemelhelderheid</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1 Methodiek</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2 Resultaten</b> .....	<b>16</b>
<b>4.3 Conclusies</b> .....	<b>17</b>
<b>5 Analyse en aanbevelingen</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1 Analyse</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2 Aanbevelingen</b> .....	<b>21</b>
5.2.1 Wegen.....	21
5.2.2 Hotspots .....	22
<i>Bijlage 1 Gemeentelijke contactpersonen op de Veluwe</i> .....	<b>25</b>
<i>Bijlage 2 Openbare verlichting op de Veluwe</i> .....	<b>26</b>
<i>Bijlage 3 Hotspots op de Veluwe</i> .....	<b>28</b>
<i>Bijlage 4 Meetmethode hemelhelderheid</i> .....	<b>32</b>

## Opdracht

Zoals verwoord in de brief van de provincie, kenmerk MW 2004.32814 van 7 december 2004, is aan Sotto le Stelle opdracht verleend voor een onderzoek betreffende het in beeld brengen van de huidige verlichtingssituatie op de Veluwe.

Het onderzoek is verdeeld in twee fases, waarvan de eerste halverwege januari 2005 afliep.

Deze eerste fase is afgesloten met het rapport 'Evaluatie fase 1'. Op grond van deze evaluatie is de opdracht verleend voor de tweede en afsluitende fase die tussen februari en mei 2005 is uitgevoerd.

Het onderhavige rapport is het eindrapport van het totale onderzoek naar de licht en duisternis situatie op de Veluwe. De resultaten van het onderzoek zijn verzameld op een bijbehorende Cd-rom.

Cd-rom gegevens:

- Gemeenten: de gegevens van de gemeenten op de Veluwe
- Kernen: overzicht van aantal lampen, totale lumen en wattage van alle kernen
- Wegverlichting: kaarten met de provinciale -, gemeentelijke - en rijkswegen
- Hotspots: kaarten betreffende de locatie van specifieke lichtbronnen in het buitengebied met een onderverdeling in huizen, hotspots, kassen en recreatiegebieden.
- Hemelhelderheid: kaarten met de gemeten en berekende waarde van de hemelhelderheid op de Veluwe

# 1 Licht en duisternis

De opdracht is de verlichtingssituatie op de Veluwe in kaart te brengen. Deze opdracht komt voort uit onderzoek en ervaringen waarbij gebleken is dat kunstmatige verlichting en daarmee vermindering van de duisternis invloed heeft op tal van processen zowel bij de mens als de natuur. Zie daarvoor bijvoorbeeld het rapport van het onderzoeksbureau Alterra: 'Lichtbelasting, overzicht van de effecten op mens en dier, Alterra rapport 778'.

In een brief dd. 13-01-2003 heeft de Veluwe-commissie daarom aangedrongen om duisternis mee te nemen in het Gelders omgevingsbeleid.

Binnen de provincie is dit opgepakt en in het derde Gelders Milieuplan uit 2004 is op bladzijde 52 te lezen dat een van de stimuleringsprojecten erop gericht is om op de Veluwe een reductie te bewerkstelligen van de licht- en geluidbelasting ten behoeve van mens en dier waardoor tevens de recreatieve waarde verhoogd wordt.

Om zicht te krijgen op de huidige situatie wat betreft verlichting en duisternis zowel in omvang als in ruimtelijke verdeling is het van belang om deze in kaart te brengen. Er is een kaart van de nulsituatie nodig waarop alle elementen die van belang zijn meegenomen worden, waarmee maatregelen gestuurd en ook later geëvalueerd kunnen worden. De onderhavige studie is te zien als een onderzoek naar deze nulsituatie.

## 1.1 Dosis effect relatie

In de offerte is aangegeven dat de inventarisatie van de lichtsituatie op de Veluwe betrekking zal hebben op drie parameters: verlichtingssterkte, lichtsterkte en hemelhelderheid. Deze drie parameters kunnen gezien worden binnen een dosis effect relatie. Hierbij zijn de lichtsterkte en lichtsterkte de dosis en de hemelhelderheid, duisternis het effect.

De verlichtingssterkte is de hoeveelheid licht die onder een lamp bijvoorbeeld op een weg valt, terwijl lichtsterkte een maat is voor de zichtbaarheid van een lamp.

De verlichtingssterkte en lichtsterkte van de verlichting zijn van belang voor de natuur. Beïnvloeding van de biologische klok maar ook bijvoorbeeld keuze van nestplaatsen kan beïnvloed worden door verlichting in de directe omgeving van de lichtbron (maximaal 100 meter) Aantrekking en afstoting van diersoorten door verlichting geschiedt door het zicht op een enkele lamp, waarbij in open veld het bereik een aantal kilometers kan zijn.

De hemelhelderheid is vooral van belang voor de mate van duisternis op de Veluwe. Nederland wordt gehuld in een waas van licht die op de grond geproduceerd wordt. Daarbij kan licht zich tot wel 50 kilometer in de atmosfeer verspreiden. In Nederland is het nergens meer echt donker en de hemelhelderheid is een goede maat hiervoor. De hemelhelderheid bepaalt bijvoorbeeld ook het aantal sterren dat te zien is.

## 1.2 Werkwijze

Om de drie bovengenoemde parameters in beeld te krijgen binnen de daarvoor toegemeten tijd moesten veel keuzes gemaakt worden. Om alle punten mee te nemen die van invloed zijn op de hoeveelheid verlichting is een veelvoud van de tijd nodig. Gedacht kan worden daarbij aan de volgende zaken: van elke lamp moet bekeken worden welke type, in welk armatuur, hoogte paal, hoeveelheid uur per jaar de lamp ontstoken is. Ook speelt een rol hoe transparant de directe omgeving is en of er gedimd wordt en zelfs eventueel de reflectie eigenschappen van de grond eronder.

Aangezien dit nauwelijks mogelijk is en ook voor het doel van de studie onnodig, is gekozen voor de zogenaamde quick-scan methode waarbij op een zo efficiënt mogelijke wijze zo veel mogelijk relevante gegevens geïnventariseerd zijn.

### **1.2.1 Kernen**

Elke kern met bevolking op de Veluwe wordt gezien als één bron van verlichting. In alle kernen is de openbare verlichting geïnventariseerd. Verder is bekeken hoeveel lampen er opgesteld staan op de sportvelden en waar de sportvelden zich bevinden. De overige verlichting binnen de kernen wordt niet meegenomen.

Aangezien er geen verlichte kassen op de Veluwe aanwezig zijn, mag verwacht worden dat ongeveer 55% van het omhoog gaande licht geproduceerd wordt door de openbare verlichting en meer dan 10% door de sportverlichting. Bijna twee derde deel van de verlichting in de kernen wordt op deze wijze geïnventariseerd. Zie daarvoor 'Licht in Nederland, Platform Lichthinder, 2003'. Deze vereenvoudiging levert relatief veel gegevens binnen een korte tijd op en is daarom gerechtvaardigd.

### **1.2.2 Buitengebied**

In het buitengebied is nauwkeuriger gekeken maar ook hier moeten keuzes gemaakt worden. Wat de openbare verlichting betreft is zo veel mogelijk de locatie van alle lampen onderzocht, waarbij ook hier nadere specificering betreffende de lichtopbrengst per lamp etc. ontbreekt. Sportverlichting is op dezelfde manier geïnventariseerd als in de kernen door de lampen te tellen en de locatie vast te leggen.

Wat de overige verlichting in het buitengebied aangaat is er van uitgegaan dat verlichting wordt geproduceerd in en om bebouwing. Elk huis is een bron van verlichting naar zijn directe omgeving. Daarnaast is er voor gekozen om de grootste bronnen van verlichting in kaart te brengen. De locaties daarvan zijn met behulp van kaarten uitgekozen; bij de definitieve keuze is ook de ambtenaar van de gemeente behulpzaam geweest. Van elke locatie (zogenaamde hotspots) is nagegaan hoeveel lampen er zich bevinden en is de locatie vastgelegd.

In totaal zijn er bijna 200 locaties geïnventariseerd.

### **1.2.3 Hemelhelderheid**

De nachtelijke hemel is niet pikzwart. Zeker in Nederland is de hemel grijs met gele wolken. Deze kunstmatige verlichting van de hemel wordt veroorzaakt door de verlichting op de grond en vermindert langzaam met de afstand tot de bron (de bevolkingscentra). Om de werkzaamheden binnen de perken te houden is een raster uitgezet van omstreeks 5 kilometer onderlinge afstand. Daarnaast zijn ook de grotere kernen, als locatie om te meten, opgenomen. In elk van deze locaties is de helderheid van het zenit, het punt recht omhoog, gemeten. Dit geeft voor een gebied op de schaal van de Veluwe een redelijke indicatie van de mate van duisternis.

## 2 Openbare verlichting

Het verkrijgen van de data betreffende de openbare verlichting van alle gemeenten op de Veluwe is in een aantal stappen geschied.

### 1 Toestemming

Allereerst is van de 18 gemeenten toestemming gevraagd om de data te mogen gebruiken. Van alle gemeenten is die verkregen. De contactpersoon, de ambtenaar belast met de openbare verlichting, is een samenvatting van de opzet van het onderzoek toegestuurd en er is afgesproken dat in de loop van het project contact opgenomen zal worden voor een afspraak.

### 2 Gegevens betreffende omvang

Stap twee was de informatie verkrijgen over welke gegevens van de openbare verlichting bijgehouden worden en waar dit gebeurt. De getallen betreffende energieverbruik en lichtopbrengst bleken voor de meeste gemeenten te berusten bij twee commerciële partijen en voor een klein aantal gemeenten bij de eigen afdeling.

Er is contact opgenomen met deze twee commerciële partijen en de data zoals die daar bekend zijn opgevraagd. Deze data zijn in de loop van december verstrekt. Ook de data van een aantal gemeenten zijn verkregen.

### 3 Geografische spreiding

Tenslotte bleek, lopende het onderzoek, dat er incidenteel ook grafische gegevens aanwezig waren, betreffende de verspreiding van de verlichting. In de loop van het onderzoek zijn deze data verkregen.

In bijlage 1 is de lijst met gemeenten, vertegenwoordigers en de geleverde data opgenomen

Het onderzoek naar de gegevens van de openbare verlichting van de provincie zelf bleek eenvoudig te zijn. Dit is direct verkregen via een medewerker van de provincie in de vorm van een file in een geschikt Geografisch Informatie Systeem (GIS) formaat. Ook de data van de Rijkswegen op de Veluwe zijn van Rijkswaterstaat verkregen.

### **2.1 Verwerken van de geleverde data**

Er bleek een grote verscheidenheid in de vorm en omvang van de geleverde data te bestaan.

Bij een aantal gemeenten is er onderscheid gemaakt in binnen- en buitengebied, terwijl bij andere er onderscheid gemaakt is in verschillende kernen.

In alle gevallen is het armatuurtype, de soort lampen en aantallen vermeld; hierbij was echter de naamgeving van lampen niet eenduidig. Er bleken meer dan 120 verschillende soorten lampen gebruikt te worden.

### **2.2 Transformatie van de data**

Van alle gemeenten is het bestand omgezet naar een excel bestand. Daarnaast zijn alle gebruikte lampsoorten omgezet tot een eenduidige lamp aanduiding. Van alle lampsoorten is uitgezocht hoeveel lumen door de lamp uitgestraald wordt.

Via draaitabellen is berekend hoeveel wattage gebruikt wordt en hoeveel verlichting aanwezig is waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt is van de onderverdeling in kernen.

In totaal zijn van 73 kernen de gegevens beschikbaar gemaakt.

In bijlage 2 is een overzicht opgenomen van alle kernen gerangschikt naar inwonersaantal met daarbij respectievelijk het aantal inwoners, aantal lampen, gebruikte wattage, geproduceerde lumen. Tevens is berekend het gemiddeld watt per lamp, aantal lumen per watt, aantal watt per inwoner en aantal lumen per inwoner.



**Figuur 1** Verlichting Wapenveld

### **2.3 Opmerkingen**

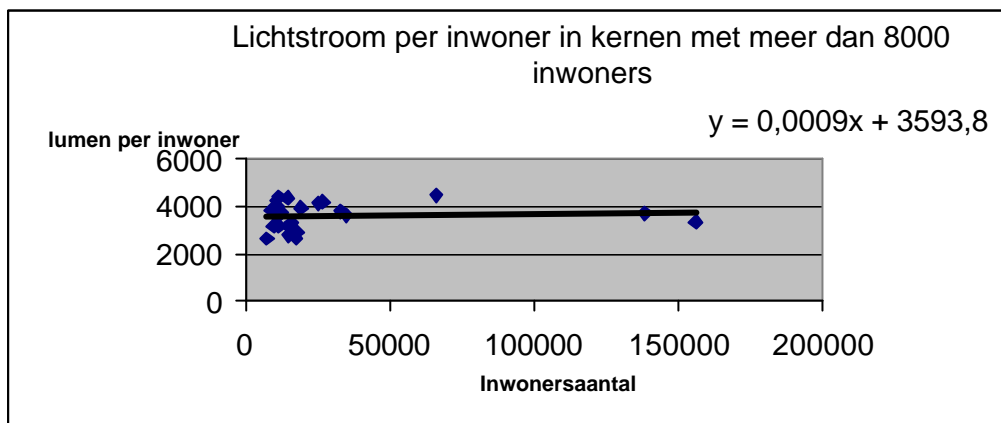
- Bij een aantal gemeenten was in de geleverde data geen onderverdeling gemaakt in kernen. Dit is het geval voor Putten, Ermelo, Oldenbroek, Harderwijk en Nunspeet.
  - Voor Putten was wel een onderscheid in binnen en buiten de centrale kern. De bevolking in het buitengebied is verspreid rond Kragtighuizen. Alleen Koudhoorn als kern met 360 inwoners wordt nu gemist.
  - Nunspeet is verwerkt door van een plattegrond na te gaan welke straten in de verschillende kernen liggen waardoor een overzicht gekregen is van de kernen Hulshorst, Elspeet en Vierhouten.
  - Van Oldenbroek zijn nadere gegevens van de gemeente zelf verkregen.
  - Harderwijk had een onderverdeling in wijken en door combinatie kon hieruit de kern Hierden gedestilleerd worden.
- Welke verlichting bij de kern hoort en welke niet is natuurlijk discutabel. Aangezien vele mensen dit soort gegevens bijhouden, zijn interpretatie verschillen niet uit te sluiten.
- De provinciale verlichting wordt in het algemeen beheerd door de gemeenten. In de bestanden van de gemeenten zijn dus ook de provinciale lampgegevens opgenomen, die op het grondgebied van de gemeente staan.
- Wat betreft het elektriciteit verbruik is het nominaal vermogen gebruikt en is niet het energieverlies in leidingen en voorschakel apparatuur meegerekend.
- Er is geen rekening gehouden met verlies door vervuiling van de optiek, achteruitgang lamp, dimmen na 23 uur, etc.

- Wat de inwonersaantallen betreft is gebruik gemaakt van diverse bronnen, zoals CBS en websites van gemeenten. Ook hier kunnen interpretatie en definitie verschillen een rol spelen.

## 2.4 Conclusies

Er zijn vele interessante gegevens te halen uit bijlage 2. Op een ervan willen we hier ingaan. Voor zover bekend is dit de eerste maal dat voor een groter gebied verlichting gegevens met elkaar vergeleken worden. Een van de interessante vragen is hoeveel licht er nu per inwoner geproduceerd wordt. Een van de hypothesen over lichthinder is dat grotere steden relatief meer licht produceren dan kleinere.

Uit de gegevens van tenminste de openbare verlichting op de Veluwe is dit niet te halen. In de grafiek hieronder is de hoeveelheid geproduceerde lumen per inwoner te zien.



**Figuur 2** Lichtstroom per inwoner

In de grafiek zijn alleen de kernen opgenomen met meer dan 8000 inwoners. Beneden die grens is de keuze wat precies als kern gedefinieerd wordt te willekeurig. Uit de grafiek blijkt een kleine toename van de verlichting per inwoner, hoe groter een kern wordt. Als alleen de 8 grootste steden genomen worden, ontstaat een licht dalende lijn. De openbare verlichting in Nederland lijkt dus ongeveer direct proportioneel met het aantal inwoners.

## 2.5 Geografische verspreiding

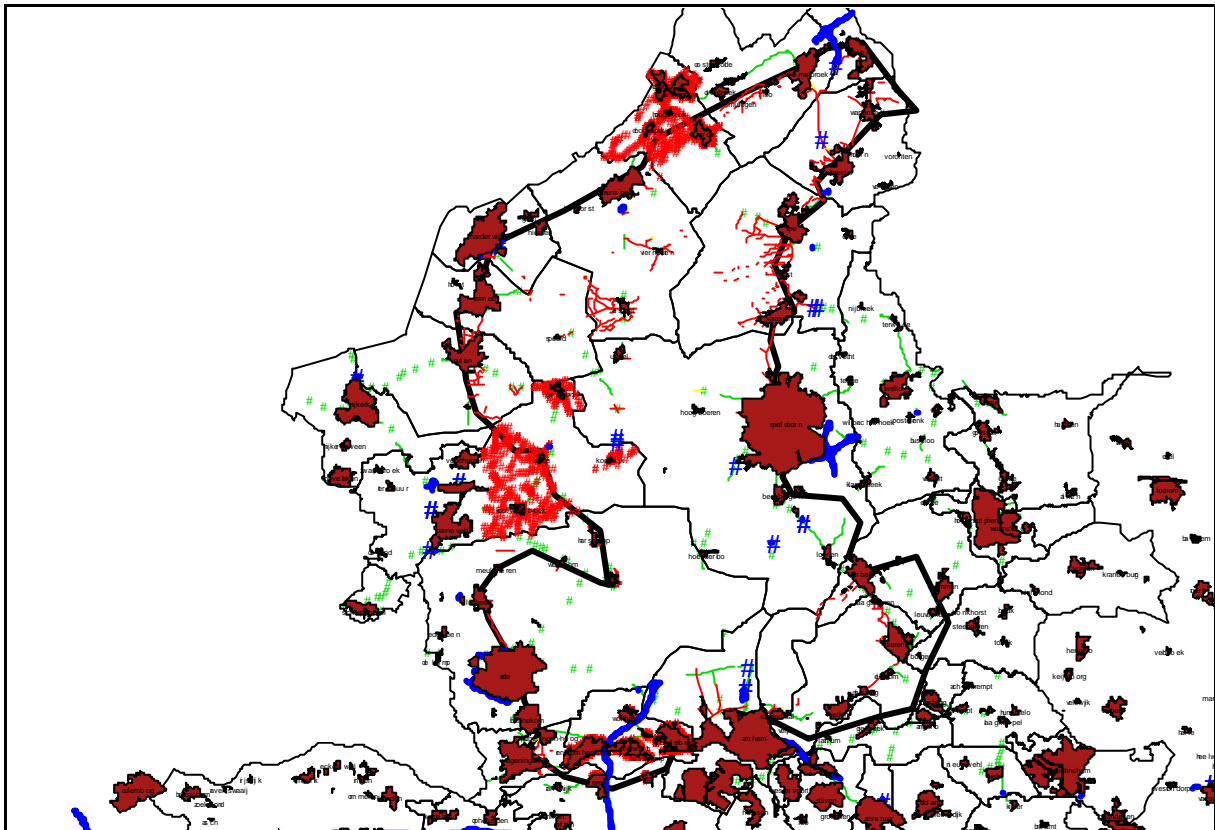
De geografische verspreiding van de lampen is minder goed ontsloten dan de gegevens betreffende de omvang van de verlichting. Zoals beschreven is er meestal een onderverdeling in kernen. Ook wordt in sommige bestanden melding gemaakt van straatnamen maar dit is niet grafisch ontsloten.

Bij alle gemeenten zijn er fotografische kaarten van de gemeente beschikbaar. Daar staan ook de paal en armatuur op van o.a. de openbare verlichting. Er is in een gemeente een proef gedaan of dit voor het onderzoek nuttige informatie was. Aangezien de foto's gecorrigeerd zijn voor de hoek en dus verticaal naar beneden gefotografeerd zijn, zijn de palen en armaturen nauwelijks te herkennen. Om op deze manier de geografische verspreiding van de verlichting te ontsluiten bleek niet haalbaar.

Bij de gemeenten Ede, Renkum, Barneveld, Elburg en Epe wordt de verspreiding ook geografisch bij de afdeling van de gemeente bijgehouden. Een probleem was dat de gegevens in verschillende formats opgeslagen waren en zodoende moeilijk verwerkt konden worden.

In Renkum, Elburg en Barneveld is dit direct in een shape file gegoten waar alle palen ingevoerd zijn. Bij Epe en Ede is het grafische bestand manueel omgezet naar een shape file.

In de overige gemeenten is de openbare verlichting in het buitengebied direct ingetekend door de ambtenaar. Bij deze werkwijze, een vorm van 'expert judgement', kunnen vergissingen of fouten natuurlijk niet helemaal uitgesloten worden. Ook zullen er verschillen zijn, of een weg met alleen verlichting in bochten, nu wel of niet ingetekend werd. Resultaten zijn tezamen met de gegevens van de provincie zelf en Rijkswaterstaat te vinden op de CD ROM onder het kopje 'wegverlichting'. In figuur 3 staan de resultaten afgebeeld; blauw is Rijkswaterstaat, groen van de provincie en rood is de gemeentelijke verlichting.

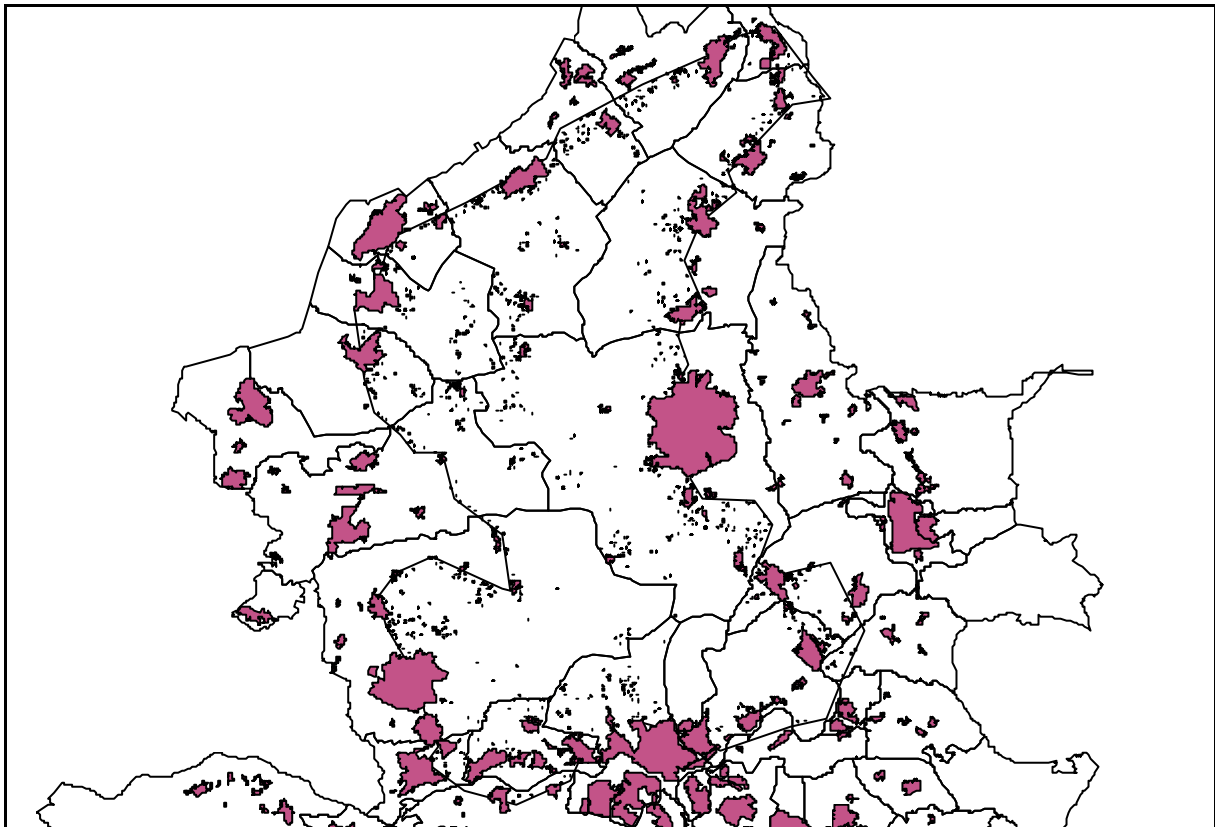


Figuur 3 Wegen op de Veluwe

### 3 Overige verlichting, hotspots

De grootste bronnen van verlichting op de Veluwe zijn de kernen. Daarnaast zijn er in het buitengebied een groot aantal verspreid liggende bronnen. Deze lichtbronnen zijn geconcentreerd rond de bebouwing.

De bebouwing op de Veluwe is al in een Gis ingevoerd. In de gegevens die van de provincie verkregen zijn worden 32.000 verschillende elementen van bebouwing (huizen) onderscheiden binnen het plangebied. In de kaart hieronder is enigszins te zien waar de concentraties van deze bebouwing zich bevinden.



**Figuur 4** Bebouwing op de Veluwe

Er wordt vanuit gegaan dat al deze bebouwing een bron van verlichting zijn. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen een restaurant met veel parkeerverlichting en een oude schuur zonder enige verlichting. Deze versimpeling is te rechtvaardigen, gezien de geringe tijdsinvestering die dit kost en de grote opbrengst. Wel is er voor gekozen om daarnaast de grootste bronnen van verlichting ter plaatse te inventariseren. Dit worden zogenaamde hotspots genoemd.

Via zo gedetailleerd mogelijk kaarten werden objecten uitgezocht waarvan vermoed werd dat er zich meer dan gewone verlichting zou bevinden. Welke objecten noodzakelijk geïnspecteerd moeten worden is via kaarten niet altijd vast te stellen. Assistentie van de lokale gemeentelijke ambtenaar was daarbij zeer welkom.

### 3.1 Procedure

#### Vorbereiding

In de loop van drie maanden zijn afspraken gemaakt met alle 18 contactpersonen van de gemeenten. Voorafgaand aan het gesprek zijn de gegevens betreffende de openbare verlichting in de gemeente uitgewerkt en zijn tevens op een kaart de locaties, de hotspots, aangegeven, waar eventueel veel verlichting aanwezig zou zijn. Tevens is een zo gedetailleerd mogelijke kaart van de gemeente verkregen.

#### Gesprek

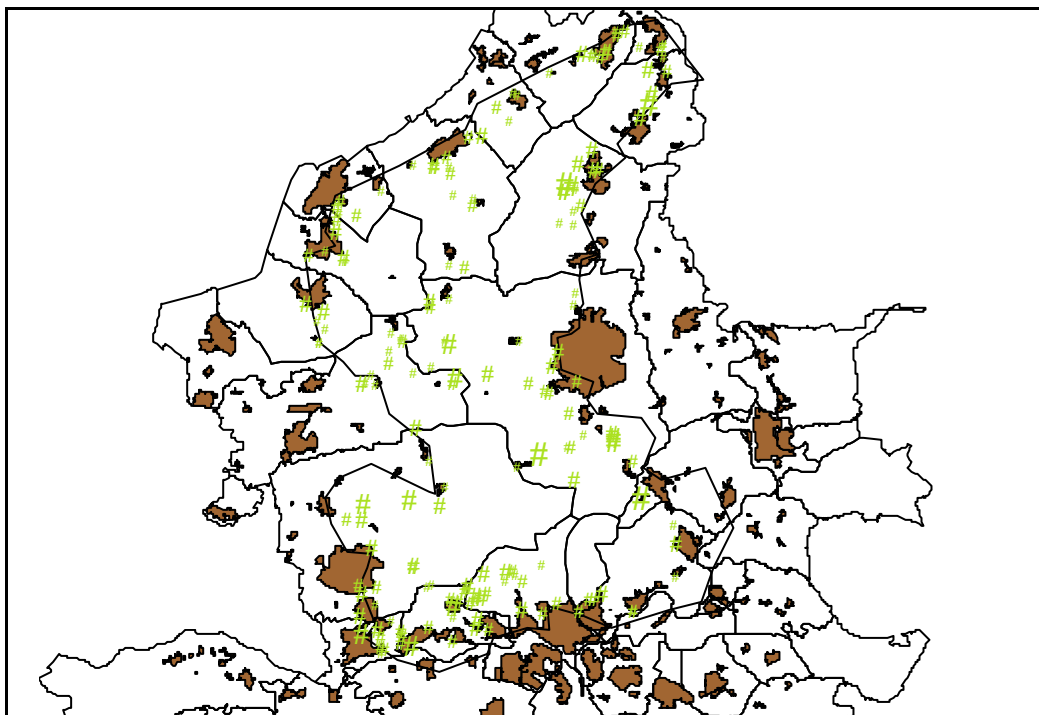
In het gesprek van een uur is achtereenvolgens gesproken over:

- De data van de openbare verlichting zoals die verwerkt waren;
- Het beleid van de gemeente betreffende openbare verlichting;
- De wegen en de verlichting in het buitengebied, waarbij op de verkregen kaart de verlichte wegen aangegeven werden;
- De hotspots, die uitgezocht waren en eventuele andere punten die bekeken moeten worden;
- De aanwezigheid van een verlichte kas op het grondgebied of in een naburige gemeente.

#### Inventarisatie

Alle locaties, die volgens de ambtenaar interessant of niet bekend waren, zijn bezocht en daarvan is genoteerd: naam, soort bedrijf, aantal lampen, GPS punt en eventueel opmerkingen.

Inspectie tijdens duisternis brengt enig voordeel met zich mee, aangezien verlichte lichtbronnen makkelijker te lokaliseren zijn maar heeft het nadeel dat lichtbronnen die niet ontstoken zijn, gemist worden. In het algemeen is er voor gekozen om overdag de inspectie uit te voeren met een aantal uitlopen naar de avond en de nacht.



Figuur 5 Hotspots op de Veluwe

In figuur 5 staan alle bijna 200 geïnventariseerde hotspots. Hoe groter het symbool hoe meer lampen zich er bevinden. De grootste hadden meer dan 300 lampen terwijl de kleinste 0 hadden. In bijlage 3 staat de hele lijst.

### **3.2 Opmerkingen**

- De keuze van de hotspots is moeilijk overal op dezelfde manier uit te voeren. Vooral geldt dit voor de recreatieterreinen. In gebieden met weinig recreatieterreinen zijn er relatief meer locaties geïnspecteerd dan in de gebieden waar veel recreatieterreinen aanwezig waren. In deze laatste gebieden is een steekproef genomen van de terreinen en is een heel vlak als hotspot aangemerkt. Dit is gebeurd bij Beekbergen, Hoenderloo, Garderen en Harderwijk.
- Recreatie terreinen werden voor een klein deel verkend en geteld hoeveel lampen per straatlengte of oppervlakte aanwezig waren, waarna via de plattegrond nagegaan werd hoeveel er in totaal aanwezig zijn. Daarbij werd particuliere verlichting op of aan vakantiehuizen niet meegerekend
- In instellingen werd ook op deze manier te werk gegaan. Dit was vaak ingewikkelder aangezien de openbaarheid kleiner was. Ook was er minder goed aangegeven hoe groot de instelling was. Hier is geregeld een schatting gemaakt gebaseerd op inspectie van buiten het terrein. Bij de opmerkingen is aangegeven als dit erg onzeker was.
- Van sportvelden werden alle lampen op de velden geteld, waarbij de lampen op de parkeerterreinen en bebouwing niet meegenomen werden.
- Bij horeca gelegenheden is zoveel mogelijk de aanwezige verlichting op en om het bebouwing geteld.
- Op militaire terreinen is inspectie niet zonder toestemming uit te voeren. Deze toestemming is niet gevraagd aangezien snel bleek dat dit zeer ingewikkeld lag en waarschijnlijk niet op korte termijn oplosbaar was.
- Op de snelwegen is de verlichting op parkeerplaatsen en benzinestations integraal geteld.

### **3.3 Kassen**

In het plangebied zijn geen verlichte kassen. Alleen de universiteit van Wageningen heeft enige matig verlichte kassen.

Rondom de Veluwe zijn wel een aantal losse kassen of zelfs concentratiegebieden van verlichte kassen die invloed uitoefenen op de duisternis op de Veluwe zelf.

Verspreid liggende kassen zijn te vinden bij Barneveld, Heerde en Twello; concentratie gebieden bij Huissen, Koekoekspolder en Luttelgeest. Deze locaties staan aangegeven op de CD Rom.

## 4 Hemelhelderheid

De hemelhelderheid is een maat voor de 'duisternis' op een bepaald punt. Van de nachtelijke hemel komt van nature een kleine hoeveelheid licht. Dit wordt veroorzaakt door niet zichtbare sterren, stof in ons zonnestelsel en een aantal andere bronnen. De nachtelijke hemel is daarom niet echt zwart.

Deze natuurlijke hemelhelderheid wordt in west Europa echter overschaduwd door kunstmatige verlichting vanaf de grond. Het licht dat direct of indirect naar boven straalt, wordt verstrooid aan moleculen en stof deeltjes. Dit licht kan in een straal van ruwweg 50 kilometer weer naar beneden komen en daarmee de hemel helderder maken.

Uit satelliet gegevens komt naar voren dat Nederland tussen de 1 en 27 keer meer hemelhelderheid heeft, veroorzaakt door kunstmatige verlichting dan door natuurlijke hemelhelderheid.

Deze gegevens komen uit de zogenaamde wereldatlas van de hemelhelderheid. Dit werk is uitgevoerd door de Italiaanse astronomen P. Cinzano en F. Falchi samen met een Amerikanen D. Elvidge en K. Baugh. De wereldatlas is gebaseerd op Amerikaanse satellietopnames en wordt internationaal veel gebruikt.



**Figuur 6 Hemel boven Apeldoorn gefotografeerd in Uddel**

Ondanks de beschikbaarheid van deze waardevolle informatiebron is voor de ontwikkeling van het donkertebeleid voor de provincie Gelderland een andere weg gevolgd. Voor het doel van de provincie is de methode Cinzano c.s. namelijk te grof. Deze biedt te weinig precieze informatie om daadwerkelijk in een gebied als de Veluwe de ontwikkeling, zowel in tijd als in ruimte, van de hemelhelderheid, als maat voor de donkerte, te kunnen monitoren.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de best bestaande techniek en inzicht, toepasbaar op metingen in het vrije veld, om de huidige hemelhelderheid op de Veluwe te meten en in kaart te brengen. Daarmee is de huidige 'donkerte' in dit gebied objectief gekarteerd.

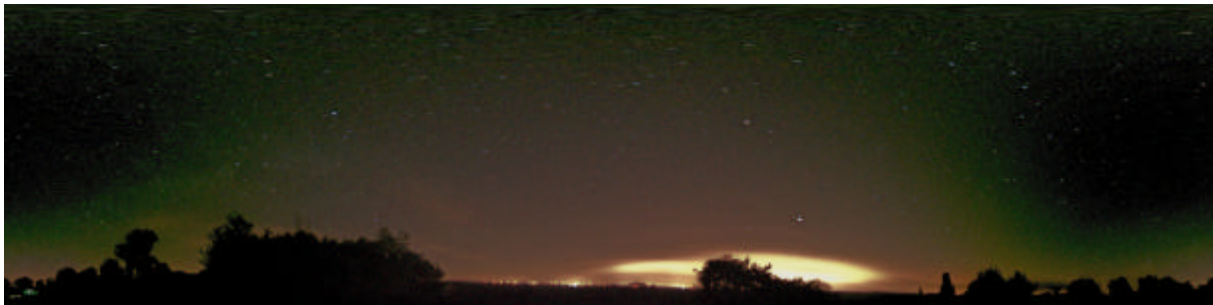
## 4.1 Methodiek

Het meten van hemelhelderheid in het vrije veld is nog niet vaak uitgevoerd. Er zijn een aantal methodieken daarvoor de laatste jaren ontwikkeld en uitgeprobeerd. Deze methodieken maken alle gebruik van lichtgevoelige chips die gebruikt worden in digitale fotoestellen en die na ijking gebruikt kunnen worden om kleine lichthoeveelheden te meten. De gevoeligheid van deze chips is tegenwoordig dermate hoog dat binnen een korte tijd veel signaal gemeten kan worden. Deze methodiek is ook uitgevoerd op de Veluwe. Er is in totaal op 88 plaatsen een meting uitgevoerd. De metingen zijn alle uitgevoerd tussen 23.00 's avonds en 05.30 in de ochtend. De metingen zijn door een medewerker van de provincie verwerkt tot een kaart, waarbij van elk punt in een raster van 500 meter, de hemelhelderheid berekend is aan de hand van de dichtstbijzijnde gemeten locaties.

Een uitgebreide beschrijving van de methodiek is te vinden in bijlage 4.

Op een aantal plaatsen werd tevens een zogenaamde all sky opname gemaakt waarvan de opname op de voorkant een voorbeeld is. De hemel met de hele horizon rondom is daarop te zien. Hieronder is dezelfde opname te zien maar dan met de horizon onder.

De foto is genomen in de nacht van 8 op 9 mei 2005 om 02.00 uur. De belichtingstijd is zo gekozen dat de impressie overeenkomt met hoe het visueel ook gezien wordt.



**Figuur 7** Hemel boven de Posbank

Noord

Oost

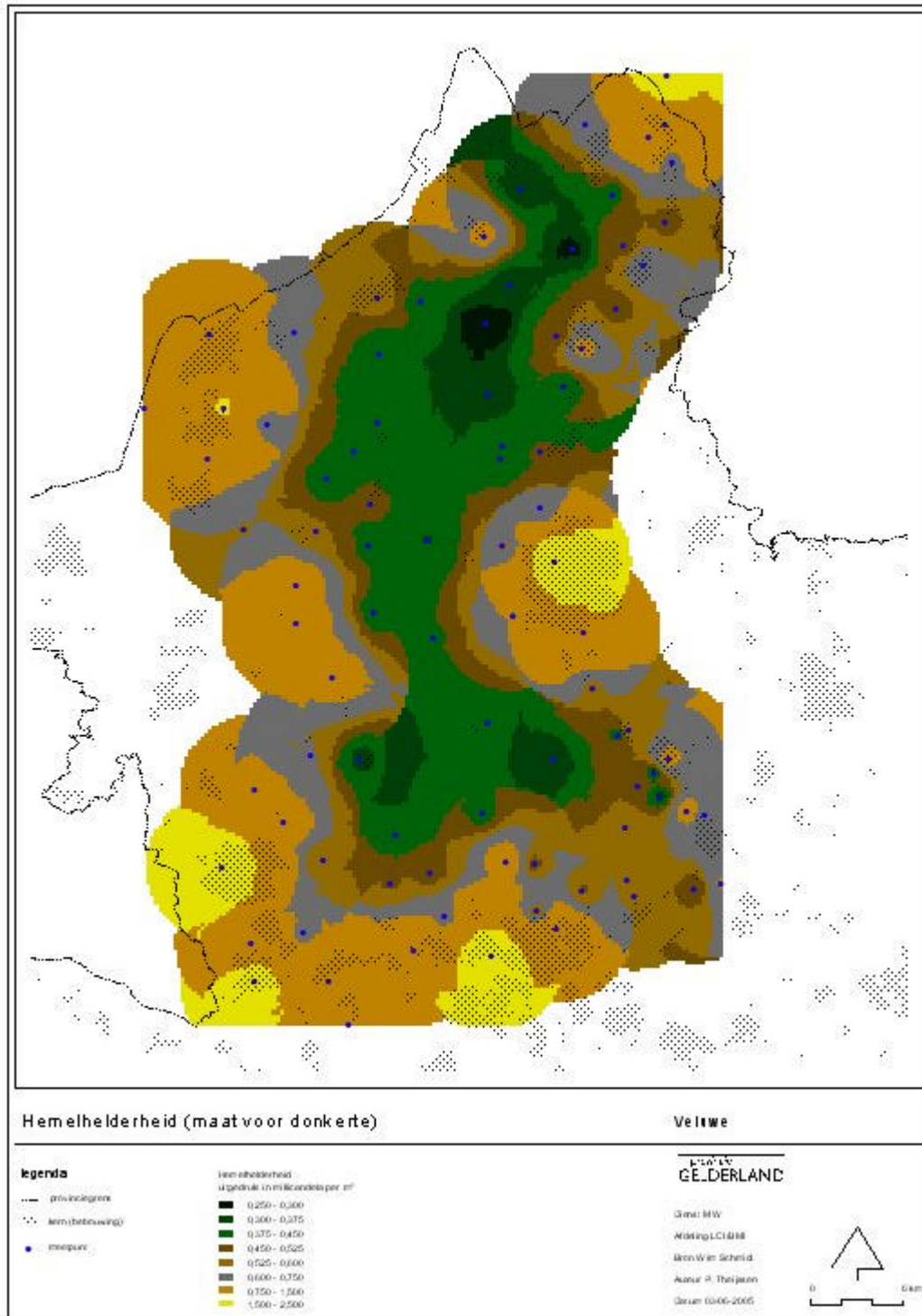
Zuid

Arnhem

West

## 4.2 Resultaten

In bijgaande kaart zijn de resultaten weergegeven.



**Figuur 8** Gemeten hemelhelderheid op de Veluwe

### 4.3 Conclusies

- De hoogste waarden liggen zoals te verwachten was in de steden. In Apeldoorn Arnhem en Ede ligt de hemelhelderheid boven de 2 mcd/m<sup>2</sup>. Dit is een factor 10 hoger dan de natuurlijke hemelhelderheid van 0,2 mcd/m<sup>2</sup>.
- Het centrale gedeelte van de Veluwe vooral tussen Epe en Nunspeet heeft een hemelhelderheid lager dan 0,5 mcd/m<sup>2</sup>. Hier is de hemelhelderheid dus minder of gelijk aan 2 maal de natuurlijke hemelhelderheid.
- Er zijn twee gebieden die het donkerst zijn: het gebied tussen Epe en Nunspeet en het kerngebied van de Veluws ten zuiden van Hoenderloo.
- Het valt op dat rondom Kootwijk relatief hoog verlicht is terwijl er weinig bebouwing in de buurt is. Dit geldt zeker voor het gebied ten westen van Kootwijk in de buurt van Stroe.
- Oostelijk van de lijn Arnhem Apeldoorn is de hemelhelderheid ook relatief hoog, terwijl hier ook relatief weinig bevolking is.
- De kaart van de hemelhelderheid lijkt veel op de kaart van de 'Stilte op de Veluwe'. Bij geluid zijn de wegen de grootste bron, terwijl bij de verlichting het vooral de steden zijn. De Veluwe wordt op de geluidskarten doorsneden door de A50 en de A12. Op de duisternis kaart is dit niet het geval. De snelwegen zijn op de Veluwe nauwelijks een bron van verlichting (de benzinestations en sommige parkeerplaatsen zijn nog wel overdadig verlicht).

## 5 Analyse en aanbevelingen

De verlichting is in kaart gebracht en tevens de tegenpool ervan de duisternis. De verlichting is in hoofdzaak geconcentreerd in de steden en dorpen. Het ontbreken van kassen op de Veluwe maakt dit zeer eenduidig.

In de kernen is de openbare verlichting en de sportverlichting in kaart gebracht. Dat is samen goed voor meer dan 60% van de verlichting in de kernen. De overige verlichting is niet meegenomen. In het buitengebied zijn zoveel mogelijk alle bronnen van verlichting in kaart gebracht. Vergeleken met de verlichting in de steden is dit echter relatief weinig. Er zijn 15 hotspots met meer dan 100 lampen. In een dorp met 1000 inwoners zijn ruwweg gezegd 160 openbare verlichtingslampen en daarbij nog eens eenzelfde hoeveelheid andere verlichting. De hotspots zoals die bekeken zijn zullen dus relatief weinig bijdrage aan de hemelhelderheid zoals die gemeten is.

Daarbij moet wel gezegd worden dat er een aantal hotspots niet of slecht meetbaar waren. Met name geldt dit voor de militaire terreinen.

### 5.1 Analyse

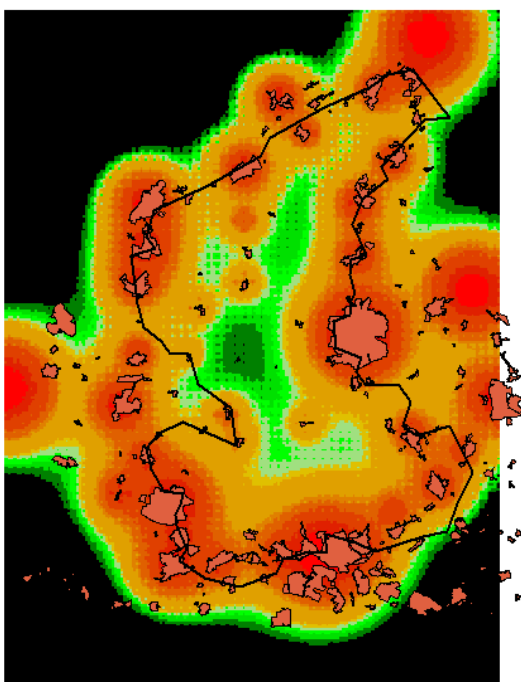
Er is aan de ene kant de verlichting gemeten en aan de andere kant de duisternis. Deze twee hebben natuurlijk met elkaar te maken. Ze zijn elkaars tegenpool.

Om deze twee met elkaar te verbinden is een model gebruikt, dat is opgesteld in Amerika in de jaren '70. De zogenaamde 'Wet van Walker' luidt dat de hemelhelderheid in de buurt van een stad proportioneel is met het aantal inwoners en afneemt met een factor met de macht - 2.5. In wiskunde:  $I \approx P * D^{-2.5}$ .

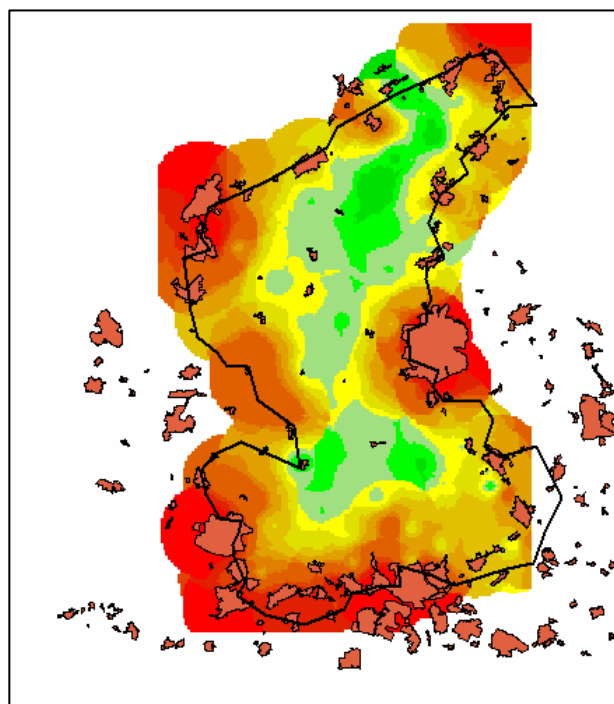
Deze wet is experimenteel vastgesteld aan de hand van geïsoleerd liggende steden in de woestijn. Er bestaan veel ingewikkelder modellen die op natuurkundige modellen van transmissie van licht door de atmosfeer gebaseerd zijn. Om het rekenmodel niet te ingewikkeld te maken is gekozen voor deze simpele maar effectieve methode.

De Veluwe is in een Excel bestand ingevoerd waarbij elke cel een vierkante kilometer voorstelt. 27 kernen met meer dan 6000 inwoners zijn daarin ingevoerd samen met een aantal kernen midden op de Veluwe: Stroe, Garderen, Hoenderloo, Otterlo, Harskamp, Uddel en Elspeet. Hierbij is als input voor elke kern het aantal inwoners gekozen en niet de gevonden gegevens van de openbare verlichting. Dit is gedaan aangezien de inwonersaantallen van plaatsen zoals Zwolle en Deventer bekend zijn en niet die van de openbare verlichting.

Het resultaat is in figuur 9 weergegeven en in figuur 10 is nog eens de gemeten kaart in dezelfde kleuren opgenomen.



**Figuur 9** Berekende hemelhelderheid op de Veluwe



**Figuur 10** Gemeten hemelhelderheid op de Veluwe

In figuur 9 is rechtsboven Zwolle ingevoerd en links in het midden is Amersfoort te zien. Ook zijn rechts Deventer en Zutphen opgenomen.

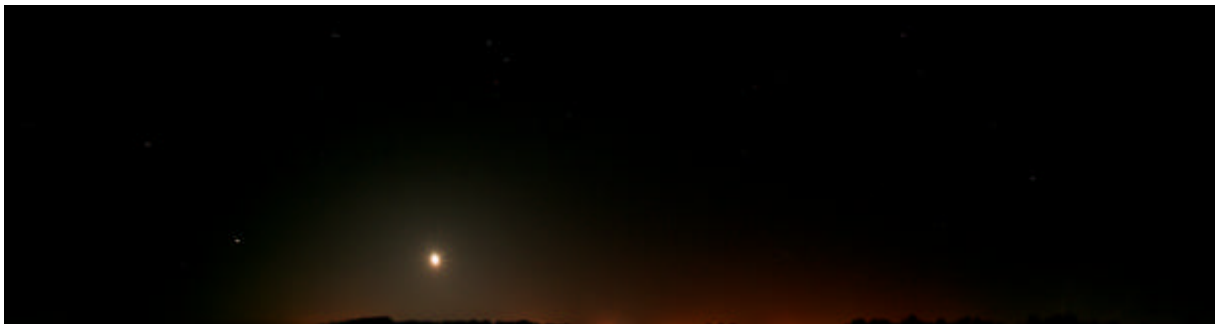
In figuur 9 komt als donkerste gebied het gebied rond Kootwijk naar voren. Dit is duidelijk anders dan uit de metingen in figuur 10 blijkt. Blijkbaar zijn er bronnen om Kootwijk die er voor zorgen dat daar de hemelhelderheid toegenomen is.

Om na te gaan welke bronnen daarvoor verantwoordelijk kunnen zijn staan hieronder de hotspots die in het gebied rondom Kootwijk liggen.

WAYPOINT	NAAM	CATEGORIE	AANTAL_LAM	GEMEENTE
104	Jool-Hul	parkeerplaats	0	Snelweg A1
105	Rabbit hill	recreatieterrein	230	Apeldoorn
106	Veritex	industrie	15	Apeldoorn
110	Kamp Nieuw Millingen	militair terrein		Apeldoorn
111	Luchtmacht AOCS	militair terrein		Apeldoorn
112	Lukasgat	benzinstation	50	Snelweg A1
128	De Strubben	parkeerplaats	0	Snelweg A1
179	Harskamperdennen	recreatieterrein	50	Barneveld
180	Berkenhorst Landal		130	Barneveld
181	Kerkendel	recreatieterrein	40	Barneveld

205	Maj Mulderkazerne	militair terrein	40	Barneveld
206	Gen Maj Kootkazerne	militair terrein		Barneveld
209	Talmahoeve	recreatieterrein	24	Barneveld
210	Tulip inn	recreatieterrein	20	Barneveld
211	Bilderberg	recreatieterrein	50	Barneveld
212	Sportpark Garderen	sportterrein	12	Barneveld

De hotspots die verantwoordelijk zijn hiervoor kunnen alleen de militaire terreinen zijn. Ook met wat mistig weer werd boven de Generaal Majoor Kootkazerne en de dicht daarbij gelegen Majoor Mulderkazerne een duidelijk gele gloed waargenomen. Ook de militaire terreinen bij Nieuw Milligen hadden dit verschijnsel boven zich. Er is vlak ten zuiden van Nieuw Milligen de volgende foto gemaakt.



**Figuur 11 Hemel boven Nieuw Milligen**

Zuid                      West                                      Noord                                      Oost

In figuur 11 is in de richting van het noorden verlichting te zien, terwijl de eerste plaats ten noorden Uddel is. Uddel ligt op 4 kilometer afstand en heeft 2580 bewoners. Dit dorp kan zeker deze verlichting niet verklaren. De heldere vlek links is de maan. Recht naar het oosten ligt Apeldoorn. In deze richting is weinig licht te zien. Apeldoorn ligt op 15 kilometer afstand.

Uit de berekende hemelhelderheid kan ook nagegaan worden hoe groot de invloed is van elke kern op het totale gebied van de Veluwe. Hierbij is de Veluwe om de berekeningen enigszins te beperken tot een rechthoekige vorm vereenvoudigd. In de volgende tabel is dit van elke kern aangegeven. De cijfers zijn percentages.

Gemeente	Percentage	Gemeente	Percentage
Apeldoorn	26,66	Renkum	0,79
Arnhem	19,99	Eerbeek	0,74
Ede	12,69	Harskamp	0,65
Harderwijk	5,44	Amersfoort	0,64
Ermelo	4,41	Uddel	0,51
Velp	2,83	De Klomp	0,48
Epe	2,59	Otterlo	0,40
Vaassen	2,45	Garderen	0,39
Wageningen	2,29	Hoenderloo	0,35

Putten	2,09	Zutphen	0,32
Lunteren	1,91	Heerde	0,32
Bennekom	1,75	Dieren	0,30
Nunspeet	1,43	Zwolle	0,29
Oosterbeek	1,38	Stroe	0,26
Voorthuizen	1,20	Elburg	0,15
Rheden	1,19	t'Harde	0,10
Barneveld	1,09	Brummen	0,09
Deventer	0,96	Wezep	0,07
Elspeet	0,79	Hatter	0,05

Dus Apeldoorn neemt meer dan een kwart van de hemelhelderheid voor zijn rekening. Apeldoorn heeft als enige stad invloed over de hele Veluwe.

## 5.2 Aanbevelingen

### 5.2.1 Wegen

Voor het behoud van de duisternis is het van groot belang dat de snelwegen op de Veluwe niet verlicht worden. De huidige benzinstations verlichten nu redelijk overdadig met gemiddeld 50 lampen. Dit zijn hoge en sterke lampen die van verre te zien zijn.

#### Provinciale wegen

De provinciale wegen worden niet sterk verlicht. Er wordt nu vooral op rotondes en bochten verlicht. De manier van verlichting is zeer conventioneel met vooral lage druk natrium lampen. De armaturen zorgen voor veel onnodige verlichting naar de omgeving, waarbij wel opgemerkt moet worden dat het gebruikte licht relatief ongevaarlijk is voor insecten. Het karakter van het omliggende land met zijn vele bomen zorgt ervoor dat het licht in de meeste plaatsen relatief niet ver weg gestraald wordt.

De provincie Noord-Holland maakt zich op dit moment sterk om dit soort verlichting te vervangen door actieve markering met behulp van led-verlichting. De lichthinder en energieverbruik worden daarmee met meer dan 90% teruggedrongen. De investeringskosten zijn nog steeds aan de hoge kant, maar zullen met meer gebruik ervan zeker dalen. Meer informatie is te vinden in de NSVV brochure 'Actieve markering' juli 2004.

Gedacht kan worden om de verlichting in open gebied staat te vervangen door deze led-verlichting.

#### Gemeentelijke wegen

Gemeentelijke wegen worden binnen de kernen verlicht zoals dat in Nederland gebruikelijk is. Alle gemeenten hebben het beleid om het buitengebied niet te verlichten tenzij noodzakelijk zoals bochten, uitritten en kruisingen. Er is wel enig verschil tussen de gemeenten of lichthinder daarbij een rol speelt of dat deze keuze alleen ingegeven wordt door financiële overwegingen. De bovengenoemde verlichting via led's zou ook hier een aanzienlijke verbetering op kunnen leveren.

Geregeld ervaren de gemeentelijke ambtenaren druk om incidenteel toch verlichting in het buitengebied te installeren. Mensen lijken het als een recht te beschouwen om bijvoorbeeld hun uitrit te laten verlichten. Ook discussies over het verlichten van fietspaden worden geregeld gevoerd en hier en daar ook inderdaad toegepast; bijvoorbeeld bij Eerbeek, Dieren, Heerde en t'Harde. Fietspaden verlichten om de sociale veiligheid te bevorderen werkt alleen als er voldoende fietsers rijden en daarom wordt aanbevolen dit zeer restrictief toe te passen.

Gemeenten zouden ondersteund worden in hun besluitvorming op dit punt door een bovengemeentelijk beleid van de provincie dienaangaande.



**Figuur 12** Fietspad tussen Eerbeek en Laag Soeren

### 5.2.2 Hotspots

#### *Militaire terreinen*

Aanbevolen wordt om een apart onderzoek te starten naar de verlichting van militaire terreinen, aangezien hierover weinig bekend is, terwijl ze waarschijnlijk aanzienlijk bijdragen aan de verlichting op de Veluwe.

#### *Recreatieterreinen*

De recreatieterreinen zijn redelijk verspreid over de Veluwe met aan de rand een aantal zwaartepunten zoals Harderwijk en Beekbergen. Recreatieparken midden op de Veluwe zijn dunner gezaaid. Toch zijn hier ook concentraties zoals bij Garderen en Hoenderloo. Uit het oogpunt van lichthinder is een concentratie gewenst en bij voorkeur in de buurt van de steden, waar de verlichting van de terreinen relatief wegvalt. Recreatieterreinen verschillen sterk in de manier en mate van verlichting. Over het algemeen worden de campings minimaal of weinig verlicht. Er zijn een aantal voorbeelden gevonden waar alleen incidenteel verlicht wordt met kleine paaltjes op hoeken. Er zijn aan de andere kant terreinen met te verkopen of te verhuren huizen waar honderden lampen staan die eigenlijk verlicht worden zoals de openbare verlichting met om elke 20 meter een lamp. Over het algemeen zijn het niet erg goede armaturen maar eerder sierverlichting die het licht vele kanten op laten schijnen. Recreatieparken zijn over het algemeen met bossen omgeven. De directe uitstoot van licht naar het omliggende land is dan ook minimaal. Wat lichtuitstoot omhoog naar de hemel betreft, staat een bungalowpark met 300 lampen gelijk aan de verlichting van een dorp met 2000 inwoners. De concentraties van vele van deze parken bij elkaar zoals bij Beekbergen draagt dus aanzienlijk bij aan de hemelhelderheid in de omgeving.

De Recron is de overkoepelende organisatie van recreatieondernemers en een van de voorwaarden voor een indeling in een bepaalde klasse is de verlichting. Tegelijkertijd heeft de Recron ook een duurzaamheidsproject. Verlichting wordt daar voor zover bekend nog niet in betrokken.

Het verdient aanbeveling overleg te voeren met de Recron over duurzame verlichting waarbij lichtvervuiling en lichthinder naast energie en kosten besparing aan de orde gesteld worden.

### ***Sportvelden***

Sportvelden dragen aanzienlijk bij aan de lichtvervuiling. Een dorp waar de sportverlichting ingeschakeld is kan verdubbelen in lichtuitstoot. Bij de inspectie zijn vele lampen gevonden waar veel licht op de verkeerde plaats terecht komt. Sinds een aantal jaren zijn er armaturen op de markt die horizontaal geplaatst kunnen worden en er zo geen licht omhoog kan terwijl wel licht over het hele veld verspreid kan worden. Er wordt sterk aangeraden om dit soort armaturen te installeren. Daarbij kan gebruik gemaakt worden van de richtlijnen van de NSVV die aangeven hoeveel licht op de naburige bewoning mag vallen.

### **Paardenbakken**

Er zijn vele paardenbakken op de Veluwe. Een aantal zijn geïnventariseerd, maar een volledige inventarisatie bleek ondoenlijk. In Epe heeft de gemeente al 300 paardenbakken op zijn grondgebied geteld.

Veel paardenbakken worden incidenteel verlicht met erg slechte, afgekeurde openbare verlichting armaturen.

Epe is bezig om beleid op dit punt aan de orde te stellen en neemt ook dit punt mee.

Aanbevolen wordt dat dit beleid in alle gemeenten op de Veluwe te ontwikkelen en uit te voeren.

### **Horeca**

Er zijn een aantal grotere conferentiecentra of eetgelegenheden op de Veluwe. Deze worden alle onder de kop horeca meegenomen. Er bleek dat vooral de gelegenheden van ketens erg veel en slechte verlichting hebben. Op de parkeerplaatsen wordt verlicht met schijnwerpers met hoog lichtniveau om ook bewakingscamera's te kunnen gebruiken.



**Figuur 13 Verlichting en camera op parkeerterrein Tulip Inn Epe**

## Instellingen

De instellingen op de Veluwe variëren sterk wat betreft verlichting. Zo heeft een instelling als de Windroos in Renkum een volledig openbaar verlichtingssysteem en ook alle open terreinen worden uitgebreid verlicht.

Bij andere instellingen is alleen de parkeerplaats verlicht of staat alleen op hoeken een lamp. Bij vergunningen die gemeenten of de provincie uitgeeft zou dit punt meegenomen kunnen worden.

## Bijlage 1 Gemeentelijke contactpersonen op de Veluwe

Gemeente	naam	tel	goedkeuring email	beheerder	leveraar data	geografische data
Apeldoorn	hr. H. Faber	055-5802594	8-11-04h.faber@apeldoorn.nl	dynamicon	dynamicon	
Arnhem	Martin Springer Gert van de	026-3774482	9-11-04martin.springer@arnhem.nl	dynamicon	gemeente	
Barneveld	Biezen	0342-415156	8-11-04g.vdbiezen@barneveld.nl	dynamicon	dynamicon	gemeente
Brummen	hr. de Weerd Rene	0575-568258	9-11-04a.deweerd@brummen.nl	dynamicon	dynamicon	
Ede	Spruitenburg	0318-680269	9-11-04rene.spruitenburg@ede.nl	dynamicon	dynamicon	
Elburg	hr. Taal	0525-688688	9-11-04gerrit.taal@elburg.nl	nettenbouw	gemeente	gemeente
Epe	hr. Bartelink	0578-678759	9-11-04henk.jan.bartelink@epe.nl	dynamicon	dynamicon	gemeente
Ermelo	hr. Blanca Jan Pieter den	0341-567261	9-11-04cbla@ermelo.nl	nettenbouw	nettenbouw	gemeente
Harderwijk	Boer	0341-411911	8-11-04j.p.denboer@harderwijk.nl	nettenbouw	gemeente	
Hatterm	hr. de Jager	038-4431616	8-11-04jager@hatterm.nl	nettenbouw	nettenbouw	
Heerde	de hr Bootsma	0578-699494	10-11-04m.bootsma@heerde.nl	nettenbouw	gemeente	
Nunspeet	hr. v.d. Zedde	0341-259224	8-11-04b.spronk@nunspeet.nl	nettenbouw	nettenbouw	
Oldebroek	hr. Geijssen	0525-638200	8-11-04dgeijssen@oldebroek.nl	nettenbouw	nettenbouw	
Putten	Arend van de Werf	0341-359773	8-11-04AvdWerf@putten.nl	nettenbouw	gemeente	
Renkum	R. van Kampen	026-3348111	10-11-04r.van.kampen@renkum.nl	dynamicon	dynamicon	gemeente
Rheden	Erik de Jonge	026-4976318	8-11-04e.dejonge@rheden.nl	dynamicon	dynamicon	
Rozendaal	dhr. Jacobsen	026-3843666	10-11-04h.jacobsen@rozendaal.nl	dynamicon	dynamicon	
wageningen	Loura Soldaat	0317-492949	11-03-05loura.soldaat@wageningen.nl	dynamicon	dynamicon	

## Bijlage 2 Openbare verlichting op de Veluwe

Kern	Gemeente	aantal inwoners	aantal lampen	Totale wattage	Totale lichtstroom	lichtstroom per watt	inwoners per lamp	Wattage per inwoner	Lichtstroom per inwoner
Arnhem	Arnhem	156190	34683	1292473	115830000	90	4,5	8,3	3340
Apeldoorn	Apeldoorn	138670	27163	1147959	101168795	88	5,1	8,3	3725
Ede	Ede	66280	11149	553588	50049520	90	5,9	8,4	4489
Harderwijk	Harderwijk	35000	7466	319923	27123140	85	4,7	9,1	3633
Wageningen	Wageningen	33020	7013	307632	26601175	86	4,7	9,3	3793
Ermelo	Ermelo	26980	3986	175450	16696400	95	6,8	6,5	4189
Barneveld	Barneveld	25210	4166	198874	17191690	86	6,1	7,9	4127
Nunspeet	Nunspeet	19170	3482	151172	13707350	91	5,5	7,9	3937
Elburg	Elburg	17790	2162	81734	6360300	78	8,2	4,6	2942
Velp	Rheeden	17680	3443	117406	9187255	78	5,1	6,6	2668
Putten	Putten	16090	3028	116196	10004845	86	5,3	7,2	3304
Epe	Epe	15950	2600	93070	7930200	85	6,1	5,8	3050
Dieren	Rheeden	15250	3161	114597	8773335	77	4,8	7,5	2775
Bennekom	Ede	14683	2312	108901	10128450	93	6,4	7,4	4381
Vaassen	Epe	12850	2185	84471	8165100	97	5,9	6,6	3737
Hatter	Hatter	11700	2458	97386	7838420	80	4,8	8,3	3189
Lunteren	Ede	11570	1390	57980	6138800	106	8,3	5,0	4416
Heerde	Heerde	11350	2146	83422	7749615	93	5,3	7,3	3611
Wezep	Oldebroek	11200	2200	107241	8794240	82	5,1	9,6	3997
Oosterbeek	Renkum	10720	2484	107946	8950550	83	4,3	10,1	3603
Renkum	Renkum	10700	1718	82944	7338850	88	6,2	7,8	4272
Eerbeek	Brummen	9730	2563	106994	8160020	76	3,8	11,0	3184
Voorhuizen	Barneveld	9140	1287	58420	4982550	85	7,1	6,4	3871
Rheden	Rheeden	7450	1716	57636	4562535	79	4,3	7,7	2659
Brummen	Brummen	7390	2061	73429	5732970	78	3,6	9,9	2782
Harde	Elburg	6300	1015	32378	2553250	79	6,2	5,1	2516
Wapenveld	Heerde	5340	906	34557	3286200	95	5,9	6,5	3627
Doorwerth	Renkum	5210	1370	39758	3909700	98	3,8	7,6	2854
Kootwijkerbroek	Barneveld	4720	176	6353	510550	80	26,8	1,3	2901
Oldebroek	Oldebroek	4260	1014	38920	3842000	99	4,2	9,1	3789
Elspeet	Nunspeet	4150	473	18239	1897850	104	8,8	4,4	4012
Harskamp	Ede	3470	329	18363	1954500	106	10,5	5,3	5941
Beekbergen	Apeldoorn	3210	902	38735	3587400	93	3,6	12,1	3977
Ederveen	Ede	3100	314	16260	1734700	107	9,9	5,2	5525
Emst	Epe	3075	444	17540	1793700	102	6,9	5,7	4040
Hierden	Harderwijk	2950	227	8078	779050	96	13,0	2,7	3432
Doornspijk	Elburg	2930	157	5535	459950	83	18,7	1,9	2930
Loenen	Apeldoorn	2920	573	32061	3492710	109	5,1	11,0	6095
Heelsum	Renkum	2900	656	27714	2346500	85	4,4	9,6	3577
Uddel	Apeldoorn	2580	342	17105	1925455	113	7,5	6,6	5630
t Loo	Oldebroek	2570	103	3654	330550	90	25,0	1,4	3209

Wekerom	Ede	2528	232	13770	1564500	114	10,9	5,4	6744
<b>Kern</b>	<b>Gemeente</b>	<b>aantal inwoners</b>	<b>aantal lampen</b>	<b>Totale wattage</b>	<b>Totale lichtstroom</b>	<b>lichtstroom per watt</b>	<b>inwoners per lamp</b>	<b>Wattage per inwoner</b>	<b>Lichtstroom per inwoner</b>
Otterlo	Ede	2432	332	14453	1331400	92	7,3	5,9	4010
Garderen	Barneveld	1980	286	10861	883650	81	6,9	5,5	3090
Hattermerbroek	Oldebroek	1810	141	3533	319850	91	12,8	2,0	2268
Hoenderloo	Apeldoorn	1760	315	17190	1742800	101	5,6	9,8	5533
Hulshorst	Nunspeet	1760	456	20723	2062650	100	3,9	11,8	4523
Oosterwolde	Oldebroek	1590	111	3891	388850	100	14,3	2,4	3503
Oene	Epe	1575	275	10625	866500	82	5,7	6,7	3151
Volheze	Renkum	1510	407	15718	1205800	77	3,7	10,4	2963
Terschuur	Barneveld	1380	120	4482	371050	83	11,5	3,2	3092
Stroe	Barneveld	1360	140	5820	492900	85	9,7	4,3	3521
Zwartebroek	Barneveld	1220	120	4488	368650	82	10,2	3,7	3072
Rozendaal	Rozendaal	1170	585	19571	1905900	97	2,0	16,7	3258
De Steeg	Rheeden	1160	470	13432	1077950	80	2,5	11,6	2294
Spankeren	Rheeden	1080	374	11917	1101150	92	2,9	11,0	2944
Ellecom	Rheeden	1050	354	9900	759115	77	3,0	9,4	2144
Heveadorp	Renkum	890	114	4384	343900	78	7,8	4,9	3017
Laag Soeren	Rheeden	820	304	15259	839950	55	2,7	18,6	2763
Vierhouten	Nunspeet	760	772	29543	1942965	66	1,0	38,9	2517
Hall	Brummen	700	123	3126	196900	63	5,7	4,5	1601
Leuvenheim	Brummen	700	250	10119	1111000	110	2,8	14,5	4444
Veessen	Heerde	660	114	3578	266750	75	5,8	5,4	2340
De Glind	Barneveld	610	81	2409	166581	69	7,5	3,9	2057
Klarenbeek	Apeldoorn	500	140	6803	726855	107	3,6	13,6	5192
De Klomp	Ede	479	53	4216	423500	100	9,0	8,8	7991
Harselaar	Barneveld	390	298	10754	870900	81	1,3	27,6	2922
Empe	Brummen	280	114	3019	372000	123	2,5	10,8	3263
Kootwijk	Barneveld	280	41	1352	99800	74	6,8	4,8	2434
Hoog-Soeren	Apeldoorn	270	82	3208	266200	83	3,3	11,9	3246
Vorchten	Heerde	250	46	1065	72150	68	5,4	4,3	1568
Nieuw Millingen	Apeldoorn	120	9	324	26100	81	13,3	2,7	2900

## Bijlage 3 Hotspots op de Veluwe

Waypoint	Naam	Categorie	Aantal lampen	Gemeente	opmerking
137	Berg en bos	sportterrein	58	Apeldoorn	
122	Bospark Beekbergen	recreatieterrein	200	Apeldoorn	
119	Ei van Columbus	horeca	20	Apeldoorn	
117	Het Liederholt	recreatieterrein	30	Apeldoorn	
177	Hoenderloo	sportterrein	14	Apeldoorn	
139	Hoog-soeren	sportterrein	0	Apeldoorn	
110	Kamp Nieuw Millingen	militair terrein		Apeldoorn	minstens 50
123	Landal Heideheuvel	recreatieterrein	180	Apeldoorn	
141	Le Triangle	horeca	20	Apeldoorn	
111	Luchtmacht AOCS	militair terrein		Apeldoorn	Veel licht, slecht te zien
176	Miggelengerg Landal	recreatieterrein	400	Apeldoorn	bewakingcameras, schijnwerpers, elke 20 meter
121	Militair terrein	militair terrein		Apeldoorn	
135	Orderbos	sportterrein	82	Apeldoorn	
115	Parc Spelderholt	horeca	30	Apeldoorn	
105	Rabbit hill	recreatieterrein	230	Apeldoorn	
173	Recidence Victoria Tulip	horeca	50	Apeldoorn	
124	Reenberg	recreatieterrein	50	Apeldoorn	
120	Sportpark Loenen	sportterrein	25	Apeldoorn	
107	Sportpark Uddel	sportterrein	10	Apeldoorn	lage palen, horizontale licht uitstoot
118	t'Spoek	recreatieterrein	20	Apeldoorn	
108	Uddelermeer	horeca	40	Apeldoorn	
109	Uddelermeer	recreatieterrein	50	Apeldoorn	
134	Ugchelen	sportterrein	28	Apeldoorn	
125	Vale ouwe	recreatieterrein		Apeldoorn	
113	van der Valk	horeca	30	Apeldoorn	
114	van Ugchelen	industrie	40	Apeldoorn	Moeilijk in te schatten
106	Veritex	industrie	15	Apeldoorn	
140	Wiesel sportterrein	sportterrein	7	Apeldoorn	
136	Willem drie kazerne	militair terrein		Apeldoorn	veel, minstens 60, veel lage druk natrium
57	Bakenberg	sportterrein	62	Arnhem	8 armaturen, erg slecht wordt verbouwd naar luxe, weg ernaar toe geheel verlicht
59	Camping Arnhem	recreatieterrein	20	Arnhem	
64	Carnevelt	sportterrein	42	Arnhem	16 erg oud en slecht
53	De Hoge Veluwe	recreatieterrein	80	Arnhem	kegels 4 meter
63	IPC Groene ruimte	instelling	10	Arnhem	niet te overzien, 6 hoge sportlampen
52	Koningsjaght	instelling	50	Arnhem	ook 10 palen ervoor
60	Nibra	instelling	15	Arnhem	moeilijk te overzien
61	Oranje kazerne	militair terrein		Arnhem	hoge sportveld lampen te zien
55	Rijksarchief	instelling	7	Arnhem	
54	Rijzenburg	horeca	35	Arnhem	
65	Valkenhuizen	sportterrein	30	Arnhem	
62		militair terrein		Arnhem	
180	Berkenhorst Landal		130	Barneveld	bollen, geen bewaking
211	Bilderberg	recreatieterrein	50	Barneveld	
206	Gen maj Kootzerne	militair terrein		Barneveld	straten
178	Harskamp	militair terrein		Barneveld	groot
179	Harskamperdennen	recreatieterrein	50	Barneveld	alleen op de hoeken
202	kas	kas		Barneveld	er zijn meer kassen, maar een is verlicht
181	Kerkendel	recreatieterrein	40	Barneveld	
205	Maj Mulderkazerne	militair terrein	40	Barneveld	plus hele omtrek om de dertig meter
212	Sportpark Garderen	sportterrein	12	Barneveld	fietspad naar Garderen apart verlicht
209	Talmahoeve	recreatieterrein	24	Barneveld	bollen
203	Tennisver. Stroe	sportterrein	12	Barneveld	lage palen

210 Tulip inn	recreatieterrein	20 Barneveld	bollen
204 VV Stroe	sportterrein	12 Barneveld	
172 Coldenhove Landal	recreatieterrein	350 Brummen	
284 Sportpark Eerbeek	sportterrein	38 Brummen	
155 Belmont	horeca	25 Ede	
156 De Scheleberg	recreatieterrein	140 Ede	bollen
219 De wijde wereld	recreatieterrein	60 Ede	bollen en oude paaltoppen
213 Ederhorst	instelling	30 Ede	de wegen als ov verlicht, de hele weg verlicht
220 Harskamp	sportterrein	10 Ede	niet geweldig
218 Hartenberg	instelling	120 Ede	allerlei soort armaturen
162 Hazeleger	recreatieterrein	40 Ede	permanente bewoning
161 Juffrouw Tok	horeca	30 Ede	erg fel reclamebord
217 Mixed hockey Ede	sportterrein	56 Ede	niet geweldig
221 Otterlo	sportterrein	4 Ede	niet geweldig
216 Sportpark	sportterrein	26 Ede	niet geweldig
215 Sportpark	sportterrein	48 Ede	niet geweldig
159 t'Gelloo	recreatieterrein	60 Ede	
214 Tennisver. Keltenwoud	sportterrein	12 Ede	de helft laag
160 Zuid Ginkel	recreatieterrein	60 Ede	
154	militair terrein	Ede	niet erg veel, onduidelijk
33 De Scheepsbel	recreatieterrein	50 Elburg	kegels
32 Sportpark de Haere	sportterrein	24 Elburg	slecht
31 Sportpark Schenk	sportterrein	14 Elburg	slechte
30 Tennisver Harde	sportterrein	14 Elburg	erg mooi en redelijk gericht
34 Tonnet	militair terrein	Elburg	meer dan 50 en 6 hoge te zien
48 bungalowpark Staverden	recreatieterrein	0 Epe	geen extra tov aantal huisjes
45 Golden Tulip	horeca	50 Epe	schijnwerpers; 50 op een halve hectare
42 Jagerstee	recreatieterrein	50 Epe	
36 Remboe	recreatieterrein	300 Epe	zeer divers; moeilijk te overzien
37 Schaapskooi	recreatieterrein	150 Epe	kegels
44 Sportpark	sportterrein	46 Epe	erg veel slechte verlichting
49 Sportpark Emst	sportterrein	6 Epe	
38 SV Wissel	sportterrein	4 Epe	
46 Tennis	sportterrein	24 Epe	
43 Tennisvereniging	sportterrein	8 Epe	
40 Veldkamp	recreatieterrein	50 Epe	lage paaltjes
39 Vossenbrg	recreatieterrein	80 Epe	
41 Waayenberg	horeca	10 Epe	
50 Wildhoeve	recreatieterrein	5 Epe	mooie camping voor kijken van sterren
47 Zandhegge	recreatieterrein	30 Epe	Diverse armaturen, eigen lampen van bewoners
198 Driehoek	recreatieterrein	10 Ermelo	
200 DVS	sportterrein	20 Ermelo	
196 Generaal Spookkazerne	militair terrein	Ermelo	geen idee, weinig te zien
199 Heerlijkheid Ermelo	horeca	60 Ermelo	paaltop
197 Kriemelkuil	recreatieterrein	80 Ermelo	bollen
201 Zanderij	sportterrein	26 Ermelo	
133 Bosgenoegen	recreatieterrein	40 Harderwijk	
183 SBW	instelling	40 Harderwijk	moeilijk te zien
130 Sonnenvanck	instelling	40 Harderwijk	
132 Sportpark	sportterrein	20 Harderwijk	
131 Tennispark Stokel	sportterrein	30 Harderwijk	
24 De Leemkule	recreatieterrein	5 Hattem	zo donker kan het ook
23 Golfclub	sportterrein	5 Hattem	horizontaal verlicht naar afslagveld
25 Prinses Margrietkazerne	militair terrein	Hattem	niets te zien
22 Tennis	sportterrein	16 Hattem	
21 Voetbal	sportterrein	24 Hattem	
Heerde 1 Azc	instelling	50 Heerde	
Heerde 3 De Dreef	instelling	400 Heerde	

Heerde 2	Groot Stokkelt	instelling	50 Heerde	
	184 Paperfabriek		20 Heerde	
Heerde 5	Sportvelden Heerde	sportterrein	50 Heerde	
Heerde 6	Sportvelden Wapenveld	sportterrein	42 Heerde	
	192 Camping de Tol	recreatieterrein	30 Nunspeet	bollen
	191 Carpool	sportterrein	6 Nunspeet	mooie armaturen
	187 Mennorode	horeca	30 Nunspeet	bollen en andere
	193 Natuur transferium	sportterrein	22 Nunspeet	
	188 Paasheuvel	recreatieterrein	40 Nunspeet	4 meter palen oude armaturen
	190 Philadelfia	instelling	10 Nunspeet	weinig
	186 Sportpark Elspeet	sportterrein	16 Nunspeet	oude armaturen
	195 Sportpark Hulshorst	sportterrein	14 Nunspeet	klassiek
	194 Sportpark Nunspeet	sportterrein	40 Nunspeet	slechte
	189 Tennispark Vierhouten	sportterrein	4 Nunspeet	
	17 De Heidehoek	recreatieterrein	40 Oldenbroek	
	18 Friki en Celavit	industrie	80 Oldenbroek	24 uren bedrijven
	26 Koops bedden	industrie	Oldenbroek	erg veel licht omhoog, aan snelweg
	15 Mulderssingel	sportterrein	44 Oldenbroek	
	12 Sportterrein	sportterrein	8 Oldenbroek	
	11 Stuivezand	industrie	60 Oldenbroek	
	SV Noord Velkuwe noord			
	14 veluwe boys	sportterrein	24 Oldenbroek	slechte
	16 Tennispark	sportterrein	12 Oldenbroek	goede
	10 VV Ovios	sportterrein	16 Oldenbroek	
13 lampen	Kragtighuizen	sportterrein	13 Putten	
100 L				
BOLLEN	Landau greenparks	recreatieterrein	100 Putten	
	5 paardebak	paardebak	4 Putten	
1				
MANEGE				
4 L FOTO	paardebak	paardebak	4 Putten	
6 MANGE				
L8 FOTO	paardebak	paardebak	8 Putten	
7				
MANEGE				
5 L FOTO	paardebak	paardebak	5 Putten	
50 lampen	Sportpark Putten	sportterrein	50 Putten	
	255 Bilderberg	sportterrein	50 Renkum	
	249 Bio revalidatie	instelling	25 Renkum	weg ernaar toe ook, slechte armaturen
	259 Blinden instituut	instelling	30 Renkum	
CP8P	Carpool	parkeerplaats	8 Renkum	
	257 Heelsum	sportterrein	32 Renkum	verlicht golfterrein
	258 Oranje nassau	instelling	25 Renkum	
	252 Papendal	sportterrein	36 Renkum	
	251 Papendal en golfterrein	parkeerplaats	50 Renkum	
	69 Parengo	industrie	200 Renkum	moeilijk te schatten
	Planken wambuis			
	250 wegenwacht	instelling	75 Renkum	
36 armspo	Sportpark Renkum	sportterrein	36 Renkum	
sport24ar				
m	Sportpark Wolfheze	sportterrein	24 Renkum	
	254 tennis en ijsbaan	sportterrein	40 Renkum	
	256 van der Heije	instelling	50 Renkum	
	253 van der V alk	horeca	50 Renkum	
	163 Windroos	instelling	250 Renkum	erg veel licht
	168 Dieren	sportterrein	76 Rheden	veel slecht licht, horizontaal
	167 Ellecom	sportterrein	8 Rheden	
	169 Jutberg	recreatieterrein	0 Rheden	paar lage lampjes, goed
	166 Rheden	sportterrein	36 Rheden	aantal erg slecht
	165 Tennispark	sportterrein	14 Rheden	
	246 Beekbergen	sportterrein	52 Rozendaal	redelijk goed

244 Hockey club	sportterrein	36 Rozendaal	kan beter
245 Hunting lodge	recreatieterrein	32 Rozendaal	
243 Tennispark	sportterrein	42 Rozendaal	goede
127 De Hucht	benzinstation	27 snelweg A1	
128 De Strubben	parkeerplaats	0 snelweg A1	
104 Jool-Hul	parkeerplaats	0 snelweg A1	
112 Lukasgat	benzinstation	50 snelweg A1	
103 Tolnegen	parkeerplaats	8 snelweg A1	
129 Tolnegen	benzinstation	66 snelweg A1	
238 Buunderkamp	benzinstation	19 snelweg A12	geen lampen op deel richting snelweg
247 De Schaars	benzinstation	30 snelweg A12	
248 Ginkelse zand	parkeerplaats	7 snelweg A12	
19 Bornheim	benzinstation	36 snelweg A28	
28 De Hare	parkeerplaats	4 snelweg A28	vlakke plaat Aurora, erg hoge paal
27 Engeland	benzinstation	10 snelweg A28	
8 Leuvenem	parkeerplaats	10 snelweg A28	vlakke plaat
29 Routiers Nunspeet	benzinstation	53 snelweg A28	
9 Willemsbos	benzinstation	40 snelweg A28	
240 De Slenk	benzinstation	24 snelweg A50	
239 Kabeljouw	parkeerplaats	10 snelweg A50	
229 Campman	horeca	32 Wageningen	
230 Dennenrust	instelling	10 Wageningen	vreemde schijnwerpers, 2 meter hoog
237 Eikelkamp	sportterrein	48 Wageningen	wel goede, niet altijd horizontaal
233 Leemkuil	instelling	20 Wageningen	bollen
228 Nol in 't Bos	horeca	30 Wageningen	
235 Numico	instelling	25 Wageningen	
227 Sportpark de Zoom	sportterrein	34 Wageningen	niet geweldig
236 Sportterrein	sportterrein	121 Wageningen	wel goede, niet altijd horizontaal
225 Wageningse berg	horeca	12 Wageningen	slecht maar weinig
234 Wielerbaan	recreatieterrein	60 Wageningen	zeer divers
226 Ziekenhuis	instelling	30 Wageningen	weet niet of ze nog aan zijn

## Bijlage 4 Meetmethode hemelhelderheid

Meten hoe helder de nachtelijke hemel is, is niet eenvoudig. De helderheden zijn erg laag waardoor erg gevoelige apparatuur gebruikt moet worden. Deze apparatuur is meestal alleen te gebruiken in gestandaardiseerde laboratorium condities. Bij het meten van hemel is dit nu juist niet mogelijk. Ook moet de procedure simpel zijn om binnen de gegeven tijd voldoende metingen te kunnen doen.

### Apparatuur

Een luminantiemeter is het geijkte instrument om de helderheid van objecten te meten. De meest gevoelige luminantiemeter die bestaat heeft een minimum waarde van 0,1 milicandela/m<sup>2</sup>. De natuurlijke hemelhelderheid is volgens de literatuur 0,217 milicandela/m<sup>2</sup>. Het is duidelijk dat zelfs deze meter aan de ondergrens zit van zijn meetbereik en de fout in zijn metingen daarom relatief groot zal zijn. Verder is de hoek waaronder hij meet erg groot, nm 3 graad. In het beeldveld zullen vele sterren meegenomen worden en kan er niet alleen de hemel gemeten worden. Er wordt daarom gezocht naar andere methodes.



**Figuur 14** Digitale camera



**Figuur 15** Luminantiemeter

Op astronomische observatoria is veel ervaring met het meten van hemelhelderheden. Met een photomultiplicator wordt, net zoals met sterren gebeurt, het licht gemeten van een klein gebied van de hemel. Dit is gespecialiseerde apparatuur, die niet vervoerbaar is.

Het meten van hemelhelderheid in het vrije veld is nog niet vaak uitgevoerd. Er zijn een aantal methodieken daarvoor de laatste jaren ontwikkeld en uitgetoet. Deze methodieken maken alle gebruik van lichtgevoelige chips die gebruikt worden in digitale foto's en die na ijking gebruikt kunnen worden om kleine lichthoeveelheden te meten. De gevoeligheid van deze chips is tegenwoordig dermate hoog dat binnen een korte tijd veel signaal gemeten kan worden. Meestal wordt daarbij gekoeld tot ongeveer 40 graden onder nul om zo min mogelijk ruis te verkrijgen. Ook dit is in het vrije veld ingewikkeld. Er is op de Veluwe

daarom gekozen om ongekoeld te werken. De fout is daardoor wel groter maar de apparatuur en procedure zijn veel eenvoudiger waardoor er op veel meer plaatsen binnen de beschikbare tijd gemeten kan worden. Deze methode is door Sotto le Stelle overgenomen van P. Cinzano en F. Falchi; zie daarvoor de publicatie 'CCD measurements of night sky brightness'. Deze methode is verder ontwikkeld in samenwerking met Duitse, Tsjechische en Italiaanse collega's.

## Conditie

De hemelhelderheid verschilt al naar gelang de bewolking. Hoe lager en dichter de bewolking hoe meer licht er vanaf de wolk gereflecteerd wordt en hoe hoger de hemelhelderheid is. Om niet elke nacht verschillende waardes te krijgen kan daarom alleen gemeten worden op een heldere nacht zonder bewolking. Andere voorwaarden zijn dat de zon meer dan 18 graden onder de horizon staat (astronomische duisternis) en de maan onder de horizon staat.

## Proef

Er zijn in de nacht van 15 op 16 januari 2005 gedurende 8 uur metingen verricht om de nieuwe methode te testen. Daarbij werden metingen uitgevoerd met bovengenoemde luminantie meter en met de nieuwe methode met digitale camera. De resultaten zijn hieronder te vinden. De punten bevinden zich alle op de Veluwe.

punt	Luminantiemeter in milicd/ m <sup>2</sup>	Digitale camera in milicd/ m <sup>2</sup>
143	0,24	0,2337
174	0,8	0,866
175	0,6	0,517
176	0,7	0,616
177	0,15	0,1398
178	0,12	0,1138
179	0,9	0,772
180	0,8	0,855
181	0,9	0,756
182	0,6	0,487
183	0,7	0,703
184	0,7	0,530
185	0,10	0,1064

De proef is geslaagd in zoverre dat de methode met de digitale camera valide is; de data komen goed overeen, dezelfde parameter wordt gemeten. De precisie in de luminantiemeter wordt bepaald door de beperkte digitale uitlezing. Onder het kopje nauwkeurigheid staat een beschouwing over de betrouwbaarheid van de nieuwe methode.

## Metingen

Na deze proef zijn op 5 nachten metingen uitgevoerd op totaal 88 plaatsen. De instelling van het foto toestel (Canon 300D) was:

- Snelheid 400 Asa;
- Belichtingstijd 30 sec;
- diafragma: 4.5 ;
- Lens 8 cm.

Op elk meetpunt is de volgende procedure gevolgd:

- Locatie is met behulp van een GPS vastgelegd;
- Een foto van 30 seconde van het zenit gemaakt;
- Een zogenaamd dark frame van 30 seconde gemaakt (hierbij wordt wel belicht, maar kan geen licht de chip bereiken door de dop op de lens te houden).

Ook al was het op deze nachten onbewolkt, toch verschilt de mate waarin het licht uitgedoofd wordt door de atmosfeer. Dat heet extinctie.

Daarom is elke nacht op één locatie een zogenaamde ijkmeting uitgevoerd waarmee de extinctie van die nacht bepaald wordt. Daarvoor wordt gecorrigeerd om de metingen van de verschillende nachten met elkaar te kunnen vergelijken.

## Verwerking

Alle foto's zijn omgezet tot een fit file (softwareprogramma Iris). Dit is het gebruikelijke format voor astronomische waarnemingen.

Alle metingen werden gekalibreerd met de dark frame gemaakt op dezelfde locatie en met flatframes (software programma AIP). Hiermee worden de fouten zoals ruis, vignettering van het toestel zoveel mogelijk opgeheven.

In het middelste deel van de foto werden 6 stukken van 15 bij 15 pixels uitgekozen waar geen sterren te zien waren en de 'mean of the median half' werd bepaald. Deze maat wordt beschouwd als de meest geschikte manier om de 'pixelvalue' van de hemel te verkrijgen. Er is in de foto's namelijk een grote signal to noise ratio en met deze methode wordt alleen het middelste deel van de pixels meegenomen en daar weer het gemiddelde van bepaald.

De gevonden pixelvalue werd via een excel tabel omgezet in magnitudes.

Tevens werd van elke nacht de extinctie bepaald aan de hand van de foto's genomen met de ijkmeting. De extinctie op de nachten verschilde tussen 0,17 en 0,27 magnitude per airmass. Om de meetresultaten van de verschillende nachten te kunnen gebruiken zijn de gemeten magnitudes van de hemel vermeerderd met de extinctie om de hemelhelderheid zonder invloed van de atmosfeer te verkrijgen. Een voorbeeld van de verwerking in een punt staat hieronder.

plaats	tijd	altitude	altitude in rad	time	sky	sky per second	sky brightness in magnitude /arcsec <sup>2</sup>	sky brightness in 10 <sup>-6</sup> candela per m <sup>2</sup>
wayp 158	20:50	90	1,571	30	16,14	0,538	20,279141	850,24
wayp 158		90	1,571	30	16,51	0,550333	20,254532	869,74
wayp 158		90	1,571	30	15,91	0,530333	20,294724	838,13
wayp 158		90	1,571	30	13,43	0,447667	20,47871	707,48
wayp 158		90	1,571	30	16,05	0,535	20,285212	845,50
wayp 158		90	1,571	30	16,04	0,534667	20,285889	844,98
gem. wayp 158				30	15,68	0,522667	20,310535	826,01

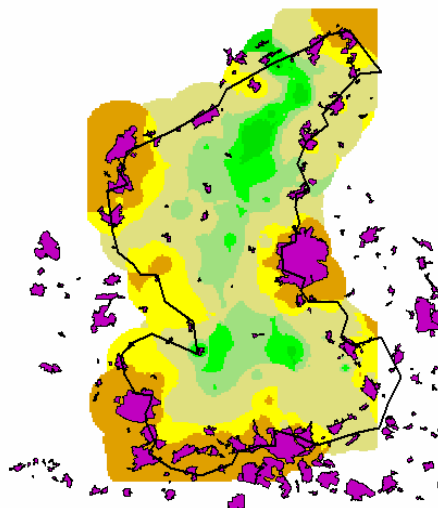
## Vergelijking met de wereldatlas

Cinzano gebruikt in de wereldatlas als parameter het aandeel van de kunstmatige hemelhelderheid in vergelijking met de natuurlijke. Om de gemeten resultaten hiermee te vergelijken is van de gemeten waarde de natuurlijke hemelhelderheid afgetrokken. Daarvoor is de waarde 0,217 mcd/ m<sup>2</sup> genomen. Het resultaat is weer door de natuurlijke hemelhelderheid gedeeld. Op deze wijze kunnen de kaarten goed vergeleken worden.

Hieronder staan hieronder twee afbeeldingen. In figuur 16 staat het gedeelte uit de wereldatlas van de Veluwe en omgeving met rechtsboven Zwolle en onderin Arnhem/Nijmegen. In figuur 17 staat de gemeten kaart.



Figuur 16 Veluwe uit de Wereldatlas



Figuur 17 Gemeten hemelhelderheid op de Veluwe

<i>De kleuren hebben de volgende waarden:</i>	De kleuren hebben de volgende waarden:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rood: tussen 9 en 27 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paars: de kernen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oranje: tussen 3 en 9 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oranje: tussen 3 en 9 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geel: tussen 1 en 3 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichtgeel: tussen 1 en 2 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Donkergeel: tussen 2 en 3 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichtgroen: tussen 0,75 en 1 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heldergroen: tussen 0,5 en 0,75 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Donkergroen: minder dan 0,5 maal de natuurlijke hemelhelderheid</li> </ul>

De gemeten hemelhelderheid komen qua orde van grootte overeen met de waarden verkregen met de satelliet. De gemeten kaart is veel gedetailleerder dan de kaart uit de wereldatlas.

Ook valt op dat de gemeten hemelhelderheid in de donkere gebieden lager is dan op de satellietkaart. Blijkbaar is de nuancering in de mate van donkerte groter dan uit de ruwe satellietdata te halen valt.

## **Nauwkeurigheid**

De waardes zoals die op de Veluwe gemeten zijn, zijn nauwkeuriger dan de waardes verkregen via de satelliet. Echter ook binnen deze metingen is een zekere mate van onzekerheid. De belangrijkste is het aandeel van de ruis in de opnames. Bij de lange belichtingstijd van 30 seconden en de lage pixelwaarde is de ruis ten opzichte van het signaal aanzienlijk. Door de waarde van vele pixels te middelen wordt deze fout tot aanvaardbare proporties terug gebracht.

Een volgende onzekerheid is dat er ook tijdens de nacht bijvoorbeeld sluierbewolking aanwezig kan zijn die niet te zien is. Ook in de kalibratie van het foto toestel zit een onnauwkeurigheid.

Het is moeilijk het aandeel van elk van deze onzekerheden te schatten om een totale analyse van de onzekerheid te maken.

Bij de 88 metingen zitten ook vele metingen waarbij op zeer korte afstand van elkaar op verschillende nachten gemeten is. De metingen vertonen geen systematische afwijkingen wat wijst op een voldoende mate van betrouwbaarheid van de meetmethode.

Er wordt geschat dat de onzekerheid minder is dan 0,2. Dus als op een locatie een hemelhelderheid gemeten is van 2,9 maal de natuurlijke hemelhelderheid, ligt de echte waarde met grote waarschijnlijk tussen 2,7 en 3,1.