

Lichtbelasting

Lichtbelasting

Overzicht van de effecten op mens en dier

J.G. de Molenaar

Alterra-rapport 778

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Molenaar, J.G. de, 2003. *Lichtbelasting. Overzicht van de effecten op mens en dier*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 778. 72 blz.; 52 ref.

Kunstmatige verlichting van de nachtelijke omgeving was tot voor minder dan driekwart eeuw geleden van een dusdanig beperkte omvang en intensiteit dat die tegenwoordig voor velen nauwelijks meer voorstelbaar is. In het reilen en zeilen van onze moderne maatschappij heeft openbare verlichting inmiddels een dusdanig belangrijke plaats verworven, dat die nu niet meer weg te denken is. Die verlichting dringt vanuit de steden en dorpen steeds verder in het buitengebied door. Duisternis wordt een schaars goed.

Deze ontwikkeling gaat niet onopgemerkt voorbij. Er voltrekt zich een bewustwordingsproces dat zich uit in een groeiende zorg over mogelijk risico voor mens en dier. Recente studies laten inderdaad zien dat kunstmatige verlichting een veelzijdige negatieve invloed kan hebben.

In dit rapport wordt een toepassingsgericht overzicht gegeven van de kennis van de effecten van lichtbelasting op mens en dier, alsmede suggesties voor preventie, mitigatie en kwalificatie van relatief kwetsbare gebiedstypen, ten behoeve van het generieke en gebiedsgerichte beleid.

Trefwoorden: aantrekking, afstoting, biologische klok, biologische kalender, desoriëntatie, hinder, mitigatie, preventie, risico, verlichting.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 778. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	9
Samenvatting en conclusies	11
1 Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Achtergrond	13
1.3 Doelstelling	13
1.4 Uitgangspunten	14
1.5 Beperkingen	14
1.6 Leeswijzer	15
1.6.1 Algemene opzet	15
1.6.2 Opzet van de effectenhoofdstukken	15
2 Werking en effecten van verlichting	19
2.1 Bestaande kennis	19
2.2 Belangrijkste categorieën van effecten van verlichting	19
2.3 Belangrijkste aspecten van verlichting	20
3 Verstoring waakslaapritme	23
3.1 Vooraf	23
3.1.1 Algemeen	23
3.1.2 De biologische klok	23
3.1.3 Niet-visuele licht- en donkerwaarneming	24
3.1.4 Melatonine	25
3.1.5 Recente ontwikkelingen	26
3.2 De mens	26
3.2.1 Overzicht	26
3.2.2 Toelichting	27
3.2.3 Terugblik	30
3.3 Dieren	30
3.3.1 Dagdieren	30
3.3.2 Nacht- en schemeringsdieren	31
3.3.3 Toelichting	32
3.3.4 Terugblik	34
4 Verstoring seizoensritme	35
4.1 Vooraf	35
4.2 De mens	36
4.2.1 Overzicht	36
4.2.2 Toelichting	36
4.2.3 Terugblik	37
4.3 Dieren	37
4.3.1 Overzicht	37
4.3.2 Toelichting	38
4.3.3 Terugblik	39

5	Hinder en afstoting	41
5.1	Vooraf	41
5.2	De mens	41
5.2.1	Overzicht	41
5.2.2	Toelichting	42
5.2.3	Terugblik	43
5.3	Dieren	44
5.3.1	Overzicht	44
5.3.2	Toelichting	45
5.3.3	Terugblik	46
6	Aantrekking	47
6.1	Vooraf	47
6.2	De mens	47
6.2.1	Overzicht	47
6.2.2	Toelichting	47
6.2.3	Terugblik	48
6.3	Dieren	48
6.3.1	Overzicht	48
6.3.2	Toelichting	50
6.3.3	Terugblik	51
7	Aantrekking door misleiding	53
8	Verblindings	55
8.1	Vooraf	55
8.2	De mens	55
8.2.1	Overzicht	55
8.2.2	Toelichting	56
8.2.3	Terugblik	56
8.3	Dieren	56
8.3.1	Overzicht	56
8.3.2	Toelichting	57
8.3.3	Terugblik	58
9	Ontregeling verre oriëntatie	59
9.1	Vooraf	59
9.2	De mens	59
9.3	Dieren	59
9.3.1	Overzicht	59
9.3.2	Toelichting	60
9.3.3	Terugblik	62
10	Naar preventie en mitigatie	63
10.1	Vooraf	63
10.2	Kans op effecten bij de mens	63
10.2.1	Kans op verstoring van bioritmen	63
10.2.2	Kans op directe reacties op verlichting	63
10.3	Kans op effecten bij dieren	64
10.3.1	Kans op verstoring van bioritmen	64

10.3.2	Kans op directe reacties op verlichting	64
10.4	Effecten en tegenmaatregelen	65
10.5	Relatief risicovolle lokaties	66
10.6	Besluit: effectafstanden	67
	Literatuur	69

Woord vooraf

Openbare verlichting neemt in het functioneren van onze moderne maatschappij een belangrijke plaats in. Niet alleen voor de economie, maar ook voor veiligheid, ontspanning en comfort vervult verlichting een belangrijke functie. Die verlichting dringt vanuit de steden en dorpen steeds verder in het buitengebied door. Duisternis wordt hierdoor een schaars goed. Dit blijft in de samenleving, zowel in Nederland als daarbuiten, niet onopgemerkt. Er voltrekt zich een bewustwordingsproces. Enerzijds omdat men er psychische hinder van begint te ondervinden, anderzijds omdat natuurbeschermers de noodklok voor de natuur luiden omdat de natuurlijke afwisseling van licht en donker van groot belang is voor tal van biologische processen. Licht op onnatuurlijke tijdstippen of in van nature donkere plekken kan tot verstoring van die processen leiden.

De maatschappelijke aandacht heeft ertoe geleid dat het onderwerp op de politieke agenda is gekomen. De Tweede Kamer heeft zich uitgesproken voor terughoudendheid bij plannen voor rijkswegen in buitengebieden. Daarnaast is door de Kamer bij herhaling aangedrongen op nader onderzoek naar mogelijke effecten van verlichting op de natuur. De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding daarvan aan Alterra opdracht gegeven voor een onderzoek naar de invloed van wegverlichting op de natuur.

Als eerste resultaat van dat onderzoek verscheen in juli 1997 'Wegverlichting en natuur, deel I: Een literatuurstudie naar de werking en effecten van licht en verlichting op de natuur'. Vervolgens is een studie naar de haalbaarheidsstudie van aanvullend onderzoek verricht. Naar aanleiding daarvan is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke invloed van wegverlichting op broedvogels van open landschappen, dat wil zeggen op weidevogels. Daarvoor is de grutto als gidsoort gekozen. De resultaten zijn in 2000 uitgebracht in het rapport 'Wegverlichting en natuur, deel III: Lokale invloed van wegverlichting op een grutto-populatie'. In dat jaar ook heeft de Gezondheidsraad een rapport over de effecten van verlichting uitgebracht, dat voor een belangrijk deel op deze studies is gebaseerd. Dit jaar is een onderzoek naar de mogelijke invloed van verlichting op het verplaatsingsgedrag van grondgebonden zoogdieren afgerond.

Inmiddels is de aandacht voor het onderwerp bij LNV en VROM doorgedrongen in diverse beleidsstukken. Bij VROM leeft in het bijzonder de behoefte aan een toepassingsgericht overzicht van de kennis van de effecten van verlichting op de mens en de natuur, die tevens de mogelijkheden voor mitigatie en de denkrichtingen voor normstellingen schetst. Deze samenvatting dient om naast het in ontwikkeling zijnde generieke en gebiedsgericht beleid voor geluid- en geurbelasting, bij te dragen aan de (verdere) ontwikkeling van beleid voor lichtbelasting in het buitengebied ten aanzien van de functies wonen, recreatie en natuur. Verlichting gaat hierbij in het bijzonder om verlichting in het buitengebied van wegen, kassen, sportvelden en industrie- en bedrijventerreinen in de context van wonen, recreatie en natuur.

Het overzicht is in principe gebaseerd op de genoemde studies van Alterra en de Gezondheidsraad. Aansluitend is gebruik gemaakt van recentere bronnen en van het sindsdien verder ontwikkelde inzicht. Het is beperkt tot de mens, gewervelde dieren en insecten. Van planten en ongewervelde waterorganismen is zo weinig concreet bekend dat zij buiten beschouwing zijn gelaten.

Samenvatting en conclusies

Verlichting heeft een veelzijdige invloed op mens en dier. Dat varieert van fundamenteel en complex, tot heel direct. Enerzijds betreft dit het gedrag in de tijd, dat is de biologische klok of het slaapwaakritme en de biologische kalender, anderzijds het gedrag in de ruimte in de vorm van hinder en afstoting, aantrekking, misleiding, verblinding en desorientatie. Daarbij zijn verschillende aspecten van verlichting in het geding, in de eerste plaats illuminantie, luminantie en spectrale samenstelling.

De kennis van de effecten van verlichting is zeer wisselend van aard. Het fundamentele, genetische, moleculaire en fysiologische laboratoriumonderzoek naar de werking van de biologische klok heeft de laatste paar jaar een stormachtige vlucht genomen. Het onderzoek naar de biologische kalender loopt hier ver bij achter. Dit geldt eens te meer voor de effecten van verlichting op het niveau van het individu, hetzij mens, hetzij dier, diens gedrag in de tijd en in de ruimte, en de doorwerking daarvan op populaties. De kennis en inzichten op dit niveau zijn vooral gebaseerd op min of meer anekdotische waarnemingen, in veel mindere mate op ruimtelijk vergelijkend veldonderzoek en bij uitzondering op zgn. controlled field experiments. Dit betekent dat dit overzicht van kennis en inzichten niet verder komt dan het kwalitatief signaleren van risico's; dosis-effectrelaties zijn nog ver weg. Desalniettemin blijkt het te gaan om risico's die op termijn zeer ingrijpend kunnen zijn, in elk geval lokaal.

De beschikbare informatie is tot besluit summier herordend en bewerkt tot een aanzet voor preventieve en mitigerende maatregelen.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Op het gebied van de kwaliteit van het buitengebied is er al wat geur en geluid betreft generiek en gebiedsgericht beleid in ontwikkeling. Ook verlichting kan zowel voor de natuur als voor de mens in het buitengebied een belasting betekenen. Er is echter wat die verlichting betreft sprake van een achterstand door het ontbreken van een overzicht van de praktisch toepasbare kennis van effecten en de mogelijkheden van mitigatie en normstelling.

1.2 Achtergrond

In de afgelopen jaren is de aandacht voor de (mogelijke) invloed van (weg)verlichting op de mens en de natuur sterk toegenomen. De verlichting van vooral wegen, maar ook van steden, dorpen, industrieterreinen, kassencomplexen, sportterreinen, etc. dringt steeds verder in het buitengebied door en in de maatschappij groeit het onbehagen hierover. Dit heeft ertoe geleid dat de Tweede Kamer zich enkele jaren geleden heeft uitgesproken voor terughoudendheid bij verlichtingsplannen en tegelijkertijd heeft aangegeven dat nader onderzoek zou worden uitgevoerd naar de mogelijke effecten van wegverlichting op natuur. De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft naar aanleiding hiervan aan Alterra opgedragen om onderzoek te doen naar de invloed van wegverlichting op de natuur. Na een literatuurstudie over de werking en effecten van licht en verlichting, waarbij ook de invloed op de mens is betrokken¹, zijn inmiddels twee veldstudies afgerond. De eerste betreft de invloed van wegverlichting op weidevogels². Hierin staat de invloed op de populatie centraal. De tweede betreft de invloed van wegverlichting op het ruimtelijke gedrag van zoogdieren, exclusief vleermuizen³. Inmiddels heeft de Gezondheidsraad er een rapport over uitgebracht, waaraan de betrokken Alterra-onderzoekers hebben meegewerkt⁴. De aandacht voor het onderwerp dringt inmiddels op diverse niveaus door in het beleid.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is een bijdrage te leveren aan de (verdere) ontwikkeling van beleid ten aanzien van lichtbelasting in het buitengebied van VROM, zowel het generieke als in het bijzonder het gebiedsgericht beleid. Verlichting gaat hier in het bijzonder om verlichting in het buitengebied van wegen, kassen, sportvelden en industrie- en bedrijventerreinen in de context van wonen, recreatie en natuur. De

¹ De Molenaar et al. (1997)

² De Molenaar et al. (2000)

³ De Molenaar et al. (2003)

⁴ Gezondheidsraad (2000)

studie geeft een toepassingsgerichte samenvatting van de effecten van verlichting op de mens en de natuur, zodanig dat het een basis kan bieden voor het ontwerpen van preventieve en mitigerende maatregelen.

1.4 Uitgangspunten

De studie gaat in principe uit van de literatuurstudie van De Molenaar *et al.* (1997) en het in belangrijke mate daarop gebaseerde rapport van de Gezondheidsraad (2000). Aanvullend laboratorium-, veld- of literatuuronderzoek maken geen deel uit van de studie. Er wordt echter wel gebruik gemaakt van inmiddels verricht eigen onderzoek, van in de tussentijd onder de aandacht gekomen studies van anderen, en van het sindsdien verder ontwikkelde inzicht. Daartoe is mede deelgenomen aan de conferentie 'Ecological Consequences of Artificial Night Lighting' in Los Angeles, op 23 en 24 februari 2002.

Voor de bronnen wordt stilzwijgend terugverwezen naar De Molenaar *et al.* (1997) en het rapport van de Gezondheidsraad (2000), tenzij er sprake is van aanvullende of nieuwere bronnen. Deze worden echter met terughoudendheid vermeld. Dat gebeurt, vanwege de genoemde terugverwijzing en met het oog op de leesbaarheid, in voetnoten.

1.5 Beperkingen

Het onderwerp is beperkt tot de mens, gewervelde dieren en insecten. Ongewervelde organismen anders dan insecten worden bij gebrek aan kennis daarover buiten beschouwing gelaten. Behalve waar iets bekend is over het zooplankton, dat zijn kleine dieren die leven van algen ('algengrazers') en van andere waterorganismen. Planten worden eveneens buiten beschouwing gelaten.

Over de reactie van planten op buitenverlichting in het vrije veld is vrijwel niets bekend. Er zijn slechts min of meer anekdotische waarnemingen die wijzen op een enkele dagen vervroegd uitlopen en een iets meer verlaat verliezen van het blad aan boomtakken binnen een afstand van enkele meters van de lampen van straatverlichting. Planten behoeven kennelijk een hoge lichtintensiteit om invloed te kunnen ondervinden. Dit is ook bekend uit de praktijk van de plantenteelt in kassen met assimilatieverlichting. Er zijn echter aanwijzingen dat er meer aan de hand zou kunnen zijn. Planten beschikken over 'kleurwaarneming' met vijf fytochromen die in rood en ver-rood doen reageren door afname van de stengelgroei en toename van de bladgroei, en twee cryptochromen en twee fototropines die reageren op blauw en ultraviolet licht. Sterk blauw licht doet chloroplasten in de plantencel zich binnen dertig minuten hergroeperen. Zij verspreiden zich onder sterk blauw licht en concentreren zich onder zwak blauw licht.

1.6 Leeswijzer

1.6.1 Algemene opzet

In het eerstvolgende hoofdstuk wordt kort ingegaan op de werking en effecten van verlichting. Er worden de belangrijkste categorieën van effecten aangeduid en de daarbij betrokken belangrijkste technische aspecten van verlichting gegeven.

Daarna wordt aan elk type effect van verlichting een apart hoofdstuk gewijd. Mens en dier worden daarbij afzonderlijk beschouwd. De hoofdstukken 3 en 4 behandelen de effecten van blootstelling aan verlichting op de bioritmen. Het gaat hier om fundamentele processen. De hoofdstukken 5 t/m 9 gaan over de directe reacties op verlichting. In het laatste hoofdstuk vindt een puntsgewijze, algemene indicatie van preventieve en mitigerende maatregelen plaats. In hoofdstuk 10 wordt op basis van het voorgaande een eerste aanzet gegeven naar preventie en mitigatie van de effecten.

1.6.2 Opzet van de effectenhoofdstukken

De opzet van elk effectenhoofdstuk is als volgt. Na een introductie geeft, apart voor mens en dier, de tweede paragraaf een samenvattend overzicht van wat er over het type effect bekend is. Daarna volgt een paragraaf Toelichting. Die is gebaseerd op bestaande kennis, inzichten en ervaring. Afgesloten wordt met een terugblik waarin de kennis en inzichten worden geëvalueerd. Daarbij is gelet op aspecten zoals de kennis op zich, de algemene praktische relevantie van de gemelde effecten en risico's, en de eventuele wenselijkheid van actualiserend literatuuronderzoek en/of aanvullend veldonderzoek.

Hierna volgt een toelichting op enige begrippen die in de tweede paragraaf van de effectenhoofdstukken aan de orde komen.

Effecten

Als eerste komen de nadere benoeming van de effecten aan de orde. Er wordt aangegeven of, en zo ja in welke mate, iets bekend is of verondersteld wordt over het optreden van het type effect dat in dat hoofdstuk aan de orde is. Het gaat om de directe effecten en om de doorwerking daarvan, de secundaire effecten. Bij de samenvatting van de effecten op dieren wordt nog eens per groep (zoogdieren, vogels, reptielen, amfibieën, vissen en insecten) aangegeven wat en in welke mate bekend is of verondersteld wordt.

De meeste gebruikte termen spreken voor zichzelf. Wellicht een uitzondering vormen de *neuro-endocriene* aspecten. Dit verwijst naar de invloed van verlichting op bioritmen⁵. Die invloed verloopt via twee deeltrajecten: een neurologisch, d.w.z. door lichtgevoelige cellen en zenuwcellen verzorgd deel dat de opname, geleiding en verwerking van de externe fysische lichtprikkel regelt, en

⁵ Dat is de regelmatige opeenvolging van processen en activiteiten in de loop van het etmaal (bijv. rusten en voedselzoeken) en in de loop van het jaar (bijv. voortplanten, wegtrekken, overwinteren).

een endocrien, d.w.z. door hormonen verzorgd deel dat na biochemische 'vertaling' van zenuwprkkelers, de informatie doorgeleidt naar het inwendige functioneren van het organisme.

Zie verder par. 3 en 4.

Betrokken lichtparameters

De mogelijk betrokken lichtparameters zijn illuminantie, luminantie, lichtspectrum, en drempelwaarden.

Illuminantie

Wat doorgaans onder verlichting wordt verstaan, heet in vaktermen de illuminantie. Dat is eenvoudig verwoord de verlichting van de omgeving, dat wil zeggen de hoeveelheid licht gemeten op een plat vlak. Dit bepaalt of we onze omgeving kunnen zien en wat we daarin kunnen onderscheiden. Als de natuurlijke verlichting daarvoor te weinig is, doen we een lamp aan. De illuminantie wordt gemeten in lux (= lumen per m²). Om een idee te geven van waar het hierbij om gaat, volgen hierna een aantal situaties met de daarbij passende verlichtingssterkten (tabel 1).

Voor mens en dier gaat het om de blootstelling aan deze verlichting.

Tabel 1. Een aantal situaties met de daarbij passende verlichtingssterkten

Situatie	Verlichtingssterkte (lux)
Daglicht bij volle zon midden zomer	50.000-100.000
Daglicht bij betrokken hemel	1.000-10.000
Daglicht gemiddeld	5.000
Schemering	10
Volle maan bij heldere hemel	0,25
Nieuwe maan bij heldere hemel	0,002
Geheel maanloze, zwaar bewolkte nacht	0,001
Bureauverlichting	200-800
Leeslicht (werkvlak)	400
's Avonds normaal verlichte kamer	25-50
Verlichting hoofdverkeersweg	20
Straatverlichting	10
Leesdrempel*	0,3
Grens kleuren zien*	0,1
Grens zien voor aan donker geadapteerd oog*	0,0001

* mens

Luminantie

Verlichting heeft nog een andere kant, de zogenoemde luminantie. Dat is, ook weer simpel verwoord, de helderheid van het oppervlak van de lichtbron, of dat nu de zon, de maan, een lamp of een kaars is. Meer verantwoord geformuleerd is het de stralingsintensiteit van de lichtbron in een bepaalde richting, gedeeld door de projectie van het brongebied op een vlak loodrecht op die richting. Die luminantie nemen we dus alleen waar als we recht in die lichtbron kijken, als we een andere kant opkijken nemen we de illuminantie waar (dit gaat dus samen met het verschil tussen

wat in de wandeling heet directe verlichting en indirecte verlichting). De luminantie wordt gemeten in $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (candela per $\text{m}^2 = \text{lumen per m}^2 \text{ per radiaalsector}$)⁶. Voor mens en dier gaat het om de combinatie van zichtbaarheid van de lichtbron (de lamp of het lampvenster) en de oppervlaktehelderheid daarvan.

Lichtspectrum

Als derde lichtparameter is het lightspectrum van belang. Licht is zichtbare electromagnetische straling, dat wil zeggen met een golflengte van ongeveer 300 tot 750 nm (nm = nanometer; 1 nm = 10^{-9} m). Die golflengten leveren samen licht op dat wij wit noemen. Afzonderlijk zien we die golflengten als kleuren, van lang- naar kortgolvig: rood, oranje, geel, groen, blauw, violet (zie tabel 2)⁷.

Tabel 2. De samenstelling van het lightspectrum

Lichtkleur	Golflengte in nanometer*
Violet	390 – 455 nm
Blauw	455 – 492 nm
Groen	492 – 577 nm
Geel	577 – 597 nm
Oranje	597 – 622 nm
Rood	622 - 780 nm

* nanometer = 10^{-9} m

Drempelwaarden

De drempelwaarden zijn voor een deel ontleend aan onderzoekliteratuur, voor een deel afgeleid uit tabel 1 en voor een deel onbekend.

Kans van optreden effecten

Onder dit kopje wordt aangegeven wat het risico van blootstelling aan verlichting en het optreden van effecten daarvan in de praktijk kan versterken. Dit heeft te maken met het voorkomen en de leefwijze of het gedrag van mens en dier, en met de omstandigheden zoals de lichtdoorlatendheid van het landschap, de intensiteit van de verlichting en de duur van de verlichting.

⁶ Het verschil tussen luminantie en illuminantie is op een heldere dag duidelijk te maken door in de zon te kijken en om je heen te kijken. Kijk je in de zon, dan word je door de luminantie verblind, kijk je om je heen, dan heb je door de illuminantie optimaal zicht. Tijdens een heldere nacht met nieuwe maan kun je door ernaar te kijken de sterren door hun luminantie wel zien, maar als je om je heen kijkt zie je vrijwel geen hand voor ogen: de illuminantie is vrijwel nihil. Het verschil heeft dus van doen met de dagelijkse begrippen van direct licht en indirect licht.

⁷ Doordat de verschillende golflengten van licht bij het passeren van het oppervlak van doorzichtig materiaal verschillend worden gebroken (eigenlijk: afgebogen), kan wit licht onder bepaalde worden ontleed in kleuren. Dat kunnen we doen met een glazen prisma, de natuur doet het voor ons tijdens de combinatie van regen en zonneschijn: we zien dan in de lucht een boog van kleuren, de kleuren van de regenboog.

2 Werking en effecten van verlichting

2.1 Bestaande kennis

Veruit de meeste kennis van de effecten van verlichting op dieren is bekend uit laboratoriumproeven met proefdieren. Dit betreft fundamenteel en deels toepassingsgericht genetisch en fysiologisch onderzoek van processen op moleculair niveau tot orgaanniveau.

De kennis van effecten in het vrije veld is daarentegen schaars. Dit is voor de praktijk van buitenverlichting een probleem: het is nogal eens onduidelijk of, en zo ja hoe en in welke zin en mate de kennis uit laboratoriumproeven geëxtrapoleerd kan worden naar het functioneren van het individu in de veldsituatie. Bovendien is de opzet van die experimenten doorgaans in verschillende opzichten minder relevant tot geheel irrelevant voor de praktijk van buitenverlichting. De kennis van effecten op dieren buiten berust in belangrijke mate op anekdotische waarnemingen, in veel mindere mate op ruimtelijke vergelijkingen tussen verschillende verlichtingssituaties, en bij uitzondering op zgn. controlled field experiments of BACI-studies (Before After Control Impact Studies)⁸. Een en ander betekent dat de bestaande kennis en inzichten van effecten van buitenverlichting op dieren niet verder kan gaan dan het kwalitatief signaleren van risico's. Dosis-effectrelaties zijn nog ver weg. Dit geldt eens zo sterk voor de mogelijke doorwerking op populatieniveau.

2.2 Belangrijkste categorieën van effecten van verlichting

De invloed van verlichting op dier en mens kan in hoofdlijnen worden onderscheiden naar de werking ervan, het gebruik ervan en de reactie erop.

- De werking van verlichting betreft de invloed van het verkeren in een verlichte omgeving, dus het effect van de illuminantie, op de bioritmen. Dit betreft zowel de dagcyclus als de seizoenscyclus (het waakslaapritme c.q. de biologische klok, en de biologische kalender). De werking is fundamenteel en complex, het betreft de oerkwaliteit van duisternis vergelijkbaar met waarden als die van rust en stilte. Het gaat hierbij om de niet-visuele waarneming van licht en donker, dus de illuminantie. In eerste instantie is de werking van neuro-endocriene aard. Hieronder valt ook de werking ten aanzien van de ontwikkeling van tumoren.
- Het gebruik van verlichting betreft de visuele waarneming van de omgeving en de directe doorwerking daarvan op het gedrag. Het gaat hierbij ook weer om de illuminantie die het mogelijk maakt om zich te oriënteren. Hieronder valt ook desoriëntatie in de zin van misleiding ten gevolge van misinterpretatie van verlichte situaties.

⁸ De conferentie 'Ecological Consequences of Artificial Night Lighting' in Los Angeles, op 23 en 24 februari 2002, meende te mogen concluderen dat de Alterra-onderzoeken naar de invloed van wegverlichting op een weidevogelpopulatie en naar de invloed van wegverlichting op het ruimtelijke gedrag van zoogdieren (De Molenaar *et al.* 2000, 2003) de enige op dat moment bekende controlled field experiments waren.

- De reactie op verlichting gaat eveneens om de visuele waarneming, en loopt uiteen van aantrekking en verblinding tot hinder en afstoting. Het accent ligt hierbij op de luminantie, maar niet uitsluitend.
- Ten slotte wordt licht ook gebruikt bij het aardmagnetische oriëntatievermogen bij de nachtelijke trek van sommige dieren. Hierbij gaat het weer om de niet-visuele waarneming.

De concrete effecten binnen deze categorieën werken door op de aan- of afwezigheid, het risico van predatie, de lichamelijke conditie, de migratie, de overwintering, de voortplanting en de overlevingskansen van individuen en populaties. Zowel aantrekking als afstoting bewerkstelligen een negatieve fragmentatie en isolatie van lokale populaties.

De effecten van werking, gebruik en reactie kunnen overigens in de praktijk met elkaar in wisselwerking staan. Dit geldt bijvoorbeeld voor de neuro-endocriene werking van verlichting op de dagcyclus en de invloed van het directe gebruik van verlichting op die cyclus. Beide verstoren de dagelijkse cyclus van waken en slapen. Aantrekking door verlichting kan zowel een kwestie zijn van aantrekking zonder meer, als van een reactie op de mogelijkheid om van die verlichting gebruik te maken. In beide gevallen kan aantrekking gevolgd worden door verblinding.

2.3 Belangrijkste aspecten van verlichting

In dit verband zijn de volgende technische aspecten van verlichting van belang:

1. Wat de lichtbron betreft:
 - a. de sterkte, in verband met 2.a;
 - b. de oppervlaktehelderheid (luminantie) en de zichtbaarheid;
 - c. de spectrale samenstelling van het geëmitteerde licht.
2. Wat de verlichting van de omgeving aangaat:
 - a. de verlichtingsintensiteit (illuminantie, reflectie van het verlichte oppervlak);
 - b. de omvang van de verlichte omgeving;
 - c. het contrast met de achtergrondverlichting;
 - d. de zichtbaarheid van de verlichte omgeving van daarbuiten.

Naast de hiervoor bedoelde primaire lichtbron kan ook sprake zijn van secundaire lichtbronnen, met dezelfde aspecten. Dat is in het bijzonder de gloed van diffuse verlichting van de hemel boven sterk verlichte objecten (air glow), die ontstaat als gevolg van lichtverstrooiing door moleculen en aerosolen in de atmosfeer.

Ten slotte zijn van betekenis het waar en wanneer van verlichting; wat het waar betreft in verband met de kans op blootstelling en de functie van de plek voor mens en dier, wat het wanneer betreft het deel van het etmaal en de duur, en het seizoen.

De omvang van de verlichte omgeving is van belang voor het risico van directe blootstelling aan verlichting, het verkeren in de verlichte omgeving. De zichtbaarheid

van de verlichte omgeving van daarbuiten is van belang voor de waarneming zonder directe blootstelling aan verlichting.

De zichtbaarheid van de lichtbron en de omvang van de verlichte ruimte zijn niet alleen afhankelijk van de technische uitvoering van het verlichtingsmiddel, maar ook van de achtergrondverlichting en van de aard van de omgeving (meer of minder open terrein). De zichtbaarheid van de verlichte omgeving van daarbuiten is ook mede afhankelijk van de aard van de omgeving. De gloed van de verlichting is mede afhankelijk van de weersgesteldheid.

3 Verstoring waakslaapritme

3.1 Vooraf

3.1.1 Algemeen

Nachtelijke verlichting verstoort het dagelijkse waakslaapritme. Dit heeft voor de mens en voor dagdieren twee kanten. Beide kunnen langer actief blijven en weer vroeger actief worden. De nachtrust wordt verkort en minder intensief. Fundamenteeler is dat tegelijkertijd de biologische klok wordt ontregeld. Hierdoor wordt de neuro-endocriene aansturing, o.a. via de geremde afscheiding van melatonine, van het fysiologische herstel van lichaamsfuncties beperkt.

Uit laboratoriumexperimenten met aan kunstmatige lichtdonkerregimes onderworpen mestvarkens, kalveren, slachtkuikens, leghennen, kalkoenen, zalmen etc. is bekend dat die regimes allerlei zaken raken. Dit agro-commerciële onderzoek laat effecten zien op bijv. de efficiëntie van de voedselopname, de gewichtsontwikkeling en groei, de skeletontwikkeling, het gedrag, de conditie, diverse aspecten van de voortplanting zoals het geslachtsrijp worden en de eiproductie, etc., etc. De gebezigde lichtdonkerregimes staan echter ver af van de realiteit van buitenverlichting waar het hier over gaat. De resultaten geven wel suggesties, maar weinig nadere uitsluitsel over de invloed van (buiten)verlichting op mens en dier.

Voor nachtdieren geldt de ontregeling van de neuro-endocriene aansturing van de lichaamsfuncties evenzeer. Verlichting kan daarnaast voor deze dieren onder andere de tijd om te foerageren verkorten, de aansluiting op de actieve periode van dierlijke voedselbronnen beperken en de concurrentie om voedsel met soortgenoten en andere soorten versterken. De resulterende afname van het rendement van het foerageren kan zo hun conditie c.a. in het gedrang doen komen.

3.1.2 De biologische klok

Vanaf het ontstaan van ons zonnestelsel, vanaf het moment dat er een oeraarde al wentelend om de eigen as om de nog jonge zon kwam te draaien, heerst er op wat wij nu als onze wereld beschouwen een regelmatige afwisseling van licht en duisternis. Nog onvoorstelbaar ver voor het ontstaan van het eerste leven op onze aarde heerste er al een regelmatige cyclus. De ontwikkeling van het leven heeft vanaf moleculair niveau altijd met dit kosmische gegeven rekening gehouden.

Het inspelen van het leven op de eindeloze regelmaat van afwisselend licht en duisternis blijkt uit het bestaan van vaste bioritmen bij plant en dier: de biologische klok (en de in het volgende hoofdstuk behandelde biologische kalender). Die klok stuurt de timing en opeenvolging van basale biochemische reacties, fysiologische processen en gedragingen, zodanig dat zij optimaal op elkaar en als geheel op de

toestand van de buitenwereld van het organisme zijn afgestemd. Die ritmes zijn voor een dier van levensbelang, omdat het daarmee kan anticiperen op de omgeving. Een nachtdier gaat al voor het aanbreken van de dag naar zijn hol en een vleermuis ontwaakt in zijn donkere slaapplek als het buiten begint te schemeren. Het gehalte aan het stresshormoon cortisol in het bloed van de mens stijgt al voor we opstaan, ter voorbereiding van de activiteiten die komen gaan.

De klok reguleert zo de dagelijks weerkerende regelmaat in afwisseling van actief zijn en rusten/ herstellen. Aanvankelijk nam men aan dat elk organisme één biologische klok had, vervolgens dat elk orgaan binnen een organisme zijn eigen klok had, en ten slotte blijkt dat op celniveau en zelfs moleculair niveau sprake is van een hele wereld aan biologische klokken en klokjes⁹. Uiteindelijk komen er steeds meer aanwijzingen dat het geheel ook genetisch vastgelegd is.

Al die inwendige klokken lopen echter niet allemaal even precies en even gelijk. Om met elkaar in de pas te blijven, moeten zij onderling voortdurend worden afgestemd. De twee suprachiasmatische kernen of nuclei (SCN) in de hypothalamus, in de 'bodem' van de hersenen vlak boven de kruising van de oogzenuwen (het chiasma), spelen hierbij een centrale rol als 'pacemaker'. In die SCN zetelt dus het centrum van de biologische klok

Met de onderlinge synchronisatie van de biologische klokken is het geheel nog niet afgestemd op of geijkt aan de werkelijke dag en nacht in de buitenwereld. Zo vervalt de klok bij langdurige duisternis in een eigen ritme, dat voor de muis neerkomt op minder dan 24 uur en bij de mens op zo'n krap 25 uur. Die ijking is een ander verhaal. Daarvoor heeft een dier een waarnemingsstelsel nodig dat een algemene indruk geeft of het op een bepaald moment 'dag' of 'nacht' is. Dat heeft geleid tot de ontwikkeling van een apart neuro-sensorisch stelsel, onafhankelijk van het zicht. Het eerste verzorgt de oriëntatie in de tijd, het tweede de oriëntatie in de ruimte.

3.1.3 Niet-visuele licht- en donkerwaarneming

Bij ongewervelde dieren zoals insecten komen naast de ogen die het kunnen zien verzorgen, aparte ogen voor (ocellen) die gebruikt worden voor uitsluitend de waarneming van licht en donker, c.q. dag en nacht. Bij gewervelde dieren met een dun schedeldak, van vissen tot vogels, gebeurt de waarneming van licht en donker door het zgn. pariëtale orgaan, een al lang bekend oogachtig orgaan vlak onder het schedeldak tussen beide hersenhelften boven de epifyse of pijnappelklier en daarmee via een zenuw verbonden. Die epifyse reageert op de waarneming door dat 'derde oog' van duisternis met de afscheiding van melatonine. Daarmee wordt direct en/of via de suprachiasmatische nuclei het functioneren van het organisme hormonaal geregeld.

Bij dikschedelige gewervelden is het 'derde oog' afwezig. Lang is gedacht dat de functie ervan bij deze dieren is overgenomen door het oog. Het was al bekend de

⁹ bijv. Whitmore *et al.* (2000)

licht/donkerprikkel verloopt via een aparte verbinding oog – suprachiasmatische kernen in de hypothalamus - epifyse. Hierbij blijkt de functie van de epifyse of pijnappelklier bij mens en zoogdier dus op het tweede plan te zijn gekomen.

Pas zeer recent is gebleken dat de lichtwaarneming zelf toch ook bij zulke dieren onafhankelijk van de visuele waarneming plaatsvindt. In de retina van de rat blijkt onder de laag van staafjes en kegeltjes een laag aanwezig te zijn met lichtgevoelige ganglia, die het pigment melanopsine bevatten en maximaal op de lichtgolflengte van 484 nm, in het groenig blauw, reageren¹⁰; inmiddels is dit ook bij de mens aangetoond. Dit zou een anatomische verklaring bieden voor de eerdere waarneming dat blinde muizen zonder staafjes en kegeltjes in hun ogen hun biologische klok in een experimenteel lichtdonkerregime nog wel bijstellen, maar dat muizen waarvan beide ogen geheel verwijderd zijn niet meer op dat licht-donkerregime reageren.

Deze ganglia hebben een eigen verbinding naar de suprachiasmatische nuclei, die deels direct, en deels via verbindingen met andere zenuwcentra in de hersenen, het dag-nachtritme van essentiële organen (hormoonklieren, lever, etc.) en ten slotte van het hele lichaam aansturen. Ze sturen bij mens en zoogdier ook de epifyse aan, die met de afscheiding van melatonine een belangrijke rol blijft spelen in het geheel.

De aansturing door de SCN blijkt een veel complexere aangelegenheid te zijn dan tot voor zeer kort werd verondersteld. Zo blijkt de bijnierschors niet alleen hormonaal aangestuurd te worden, maar bovendien op via twee onafhankelijke zenuwsystemen. Inmiddels lijkt dit ook zo te zijn voor de lever. Een deel van die neurale aansturing heeft mogelijk als functie dat het ontvangende orgaan hiermee een sein krijgt tot voorbereiding op de chemische (hormonale) aansturing. Veel duidelijker is het op dit moment niet, maar het is wel frappant dat naast die twee onafhankelijke zenuwsystemen in de celkern sprake is van twee paar genen die daar het dag-nachtritme in het functioneren van de cel sturen. Hoe dat precies gebeurt begint uit thans lopend onderzoek ook steeds duidelijker te worden. Het gaat om ingewikkelde biochemische processen die de genetische informatie aflezen en doorvertalen, en waarbij verschillende terugkoppelingsmechanismen zijn ingeschakeld. In exact biochemisch detail zijn er verschillen, maar van primitieve planten zoals schimmels tot hoogontwikkelde dieren en de mens blijkt het basisprincipe van het geheel één en hetzelfde te zijn.

3.1.4 Melatonine

De fundamentele betekenis van melatonine blijkt onder meer uit het feit dat dit hormoon aangetroffen is in alle daarop tot nu toe onderzochte planten en dieren, zelfs in primitieve algen, en bij alle een dergelijke herstelfunctie vervult of lijkt te vervullen.

Melatonine stuurt bij ‘dunschedeligen’ de hypofyse aan, die weer op zijn beurt de activiteit van hormoonklieren zoals schildklier, bijnierschors en geslachtsklieren aanstuurt. Melatonine speelt de sleutelrol bij de synchronisatie van de biologische klok met de buitenwereld. Daarmee regelt melatonine het hele spectrum van

¹⁰ Berson (2002)

lichaamsfuncties en elementen van de levenscyclus die door de hormoonhuishouding worden geregeld. Bij 'dikschedeligen' is het wat ingewikkelder en speelt melatonine 'de tweede viool' na de suprachiasmatische nuclei. Het reguleert niet alleen (mede) de productie van andere hormonen, het versterkt ook het immuuniteitsstelsel, verlaagt het cholesterolgehalte, beschermt het cardiovasculaire systeem, en induceert slaap als ritmisch verschijnsel van rust en herstel.

Melatonine beïnvloedt verder de prikkeloverdracht tussen zenuwcellen via een remmende werking op de receptoren van de neurotransmitter serotonine (vandaar vermoedelijk ook dat blijkt dat het perifere zenuwstelsel lichtgevoelig is). Melatonine is bijvoorbeeld ook een zeer sterke antioxidant, veel sterker dan de vitaminen C, E en A, en heeft hierdoor een grote invloed op het neutraliseren van vrije radicalen die normale cellen kunnen doen afsterven en bijdragen aan het verouderingsproces en aan het ontstaan van kanker¹¹.

3.1.5 Recente ontwikkelingen

De laatste paar jaren heeft het fundamentele onderzoek naar de werking van de biologische klok en naar de invloed van licht daarop een stormachtige vlucht genomen. Op moleculair, genetisch en neurologische gebied levert dit een nog steeds sterker aanzwellende, verbredende en verdiepende, en daardoor nauwelijks bij te houden stortvloed van nieuwe gegevens en inzichten. Dit gaat zo snel, dat de consequenties van die nieuwe gegevens en inzichten bij lange na nog niet overzien kunnen worden. Dat geldt nog sterker voor de invloed die verlichting op de biologische klok heeft of lijkt te hebben, en eens te meer voor de effecten die dit weer kan hebben voor mens en dier. Er kan op dit moment eigenlijk niet veel meer van worden gezegd dan dat verlichting nog veel dieper ingrijpende risico's voor mens en dier kan hebben dan men tot voor enkele jaren meende.

3.2 De mens

3.2.1 Overzicht

- **Directe effecten**

* Algemeen	- i.h.a. goed bekend.
* Neuro-endocrien:	- ontregeling van de aansturing van lichaamsfuncties; o.m. beperking van de melatonine-afscheiding door de epifyse.
* Gedragmatig:	- verlenging van de dagelijkse periode van activiteit ten koste van de rust- en herstelperiode.

¹¹ bijv. Reiter (2001)

• **Doorwerking effecten**

* Alg. psychisch:	- ervaring van ongemak, belasting, stress.
* Alg. fysiek:	- vermoeidheid, stress.
* Neuro-endocrien:	- ontregeling lichaamsfuncties: <ul style="list-style-type: none">- ontregeling hormoonspiegels; metabolisme, hartslag, hersenactiviteit e.d.- risico kanker: aanwijzingen voor stimulatie van optreden en groei van tumoren, i.h.b. van borstkanker; van beperking van de melatonine-afscheiding.
* Psyche en fysiek:	- minder optimaal functioneren; <ul style="list-style-type: none">- vermoeidheid/verslachte aandacht, irritatie, stress;- verhoogd risico op ongemak en letsel;- verminderde en/of minder wenselijke sociale participatie in dagelijks leven.

• **Betrokken lichtparameters**

* Luminantie:	- niet relevant; zie echter § 5 (hinder en afstoting)
* Illuminantie:	- is bepalend; invloed neemt toe met verlichtingsintensiteit.
* Golflengte licht:	- effect neemt toe met kortgolfiger licht (wat melatonine betreft).
* Drempelwaarden:	- neuro-endocriene invloed (wat melatonine betreft): <ul style="list-style-type: none">- bij blauwgroen licht: tussen 0,2 en 5 lux;- bij breedband wit licht: ca. 100 lux¹²; - visueel/gedragsmatig: <ul style="list-style-type: none">- minder dan 1 tot 0,1 lux (afhankelijk van individu en situatie: slaapbehoefte, ervaring van hinder, enz.)¹³.

3.2.2 Toelichting

Verstoring van het dagelijkse ritme van 'waken en slapen' door verlichting betekent dat de verstoring van het evenwicht tussen de periode van (mogelijke) activiteit en de periode van rust en herstel. In par. 3.1 is al een en ander over de achtergronden hiervan gemeld. Verstoring van het dag-nachtritme is tot nu toe vooral algemeen bekend van extreme situaties, zoals werken in nacht- en in ploegendienst, bij cabinepersoneel op internationale vluchten en bij de zgn. jetlag. Het kan leiden tot vermoeidheid, prikkelbaarheid, slaapstoornissen, suboptimaal presteren en in het algemeen niet-welbevinden¹⁴, maar ook tot minstens zo belangrijke risico's via neuro-endocriene processen.

Neuro-endocriene aspecten

Zeer recent komt er een snel aanzwellende golf van aanwijzingen dat verstoring van het circadiane of waakslaapritme door verlichting een stimulerende invloed uitoefent

¹² Blask (2001), Brainard (2000, 2001)

¹³ Oudere gegevens (Wever 1979) geven een aanzienlijk veel hogere drempelwaarde

¹⁴ (Koller *et al.* 1994)

op de ontwikkeling van kanker. Het betreft de invloed van verlichting op endocriene processen, waarbij melatonine een centrale rol speelt. Al eerder was bekend geworden dat licht ook bij de mens de afscheiding van melatonine door de epifyse onderdrukt, afhankelijk van de verlichtingsintensiteit¹⁵. Inmiddels is geconstateerd dat melatonine zowel *in vitro* (in celculturen) als *in vivo* (in levende organismen) de groei van tumoren (i.h.b. van borstkanker) remt door beperking van de opname en de stofwisseling van het meervoudig onverzadigde linolzuur in tumoren¹⁶. Het blijkt ook dat er bij blinde vrouwen gemiddeld minder vaak borstkanker voorkomt dan bij de rest van de bevolking, en bij vrouwen die niet in nacht- of ploegendienst werken juist meer¹⁷.

Melatonine-niveaus worden in de mens het meest verlaagd bij blootstelling aan blauw licht (446-477 nm, met een piek bij 464 nm) en het minst bij rood licht (>600 nm). Blauw licht kan al bij een zeer lage intensiteit melatonine onderdrukken, wit licht doet dit pas bij een twintig maal hogere intensiteit.

Zoals gezegd, vormt de afscheiding van melatonine door de hypofyse (mede) de schakel van de licht- en donkerwaarneming naar de aansturing van onze hormoonhuishouding en het daardoor biochemisch gereguleerde fysiologisch functioneren van dier en mens. Door deze sleutelrol is een verband tussen verlichting, melatonine en zoiets als borstkanker eigenlijk niet verrassend. Het is veeleer verbazend dat dit verband pas zo recent wordt gelegd. In het licht van de resultaten van de al aangetipte agro-commerciële laboratoriumexperimenten is het nog verbazender dat er eigenlijk zo weinig bekend is over de invloed van verlichting op het hele spectrum van lichaamsfuncties en elementen van de levenscyclus die door de hormoonhuishouding worden geregeld.

Er zijn echter inmiddels snelle ontwikkelingen gaande die erop wijzen dat verschijnselen zoals hoge bloeddruk¹⁸, aangeboren neiging tot overgewicht ('vetzucht')¹⁹ en diabetes-2²⁰ onder invloed staan van het functioneren van de suprachiasmatische nuclei. En daarmee dan ook door verlichting kunnen worden beïnvloed. Hoge bloeddruk en aangeboren neiging tot overgewicht hangen in elk geval ook via een andere, directe route met verlichting samen. Dat is wat hoge bloeddruk betreft de route van verstoring van het dagnachtritme (langer op- en actief blijven en onvoldoende lange en regelmatige slaap), wat neiging tot overgewicht aangaat van verstoring van en het ultradiane ritme (het inwendige, biologische ritme binnen het dagnachtritme²¹) in voedselopname en functioneren van de

¹⁵ (bijv. Brainard 2000, Brainard *et al.* 1988, Lewy *et al.* 1980)

¹⁶ Batt (2000), Blasko *et al.* (1999a, 1999b), Brainard (2000), Dauchy *et al.* (1997, 1999), Stevens (2000)

¹⁷ Feychting (2000), Hahn (1998), Verkasalo *et al.* (2000), Kliukiene *et al.* (2001), Hansen (2001)

¹⁸ Dat is in chronische vorm

¹⁹ De vorm van obesiteit die zich uit in het zgn. 'peermodel'

²⁰ 'Ouderdomsdiabetes', de vorm van suikerziekte die niet het gevolg is van disfunctioneren van de alvelesklier.

²¹ Naast het dagnachtritme kent de biologische klok ook korte ritmen of cycli van enkele uren. Dat is naast het hier bedoelde o.a. het geval bij de verdeling van de perioden van bewegingsactiviteit van verschillende knaagdieren en van de graas- en herkauwactiviteit bij herkauwers over de dag. Overigens bestaan er zo ook meerdaagse ritmen die samenhangen met de cyclus van de maan (ook in zeedieren via de daardoor opgeroepen getijden), en naast de biologische kalender meerjarige ritmen (o.a. populatiecycli bij lemmingen, woelmuizen)

spijsvertering²². Overgewicht en hoge bloeddruk vertonen zoals bekend overigens ook directer verband met elkaar, en de risico's van elk worden vrijwel voortdurend via de media onder de aandacht gebracht.

Zicht en activiteiten

Verlichting betekent voor de mens dat die langer na het eind van de natuurlijke daglichtperiode actief kan blijven en eerder, voor het weer helemaal van nature licht wordt, weer actief kan worden. Hij kan dus een groter deel van het etmaal effectief benutten. De mens kan zelfs zijn dagelijkse waaksaapritme geheel omdraaien.

Bij de mens, als uitgesproken 'gezichtsdiër', speelt visuele oriëntatie een zeer belangrijke rol. De zaken liggen bij mensen echter genuanceerder dan bij dieren. Mensen verlichten hun omgeving om bepaalde activiteiten te kunnen bedrijven waarbij kunnen zien van belang is. Dit kan veranderen als zij hun prioriteiten verleggen, bijv. door toe te geven aan hun behoefte aan slaap. Dan doen ze het licht uit of sluiten het buiten door zich terug te trekken. Kunnen zij zich niet onttrekken, dan ligt de zaak voor hen net als voor anderen die bloot worden gesteld aan verlichting waar ze zelf niet de hand in hebben of baat bij hebben: ze kunnen onbehagen ervaren. Het blijkt in elk geval dat bewoners huizen in de directe omgeving van buitenverlichting hinder kunnen ondervinden door het op- of verlichten van tuinen en slaapkamers. Wandelaars kunnen zich gehinderd voelen door elke vorm van verlichting die waarneembaar is buiten het van nature aanwezige licht.

Voor mensen lijken er alleen consequenties te kunnen zijn van relatief sterke verlichting in de vorm van:

- facilitatie van activiteiten, bij relatief sterke verlichting in de orde van grootte van circa 10 lux of meer (zie tabel in par. 2.2.2), mits dit berust op bewuste afweging;
- hinder door verstoring van het dagnachtritme, al beginnend tenminste bij de leedrempel (dus bij verlichting in de orde van grootte van minder dan 1 lux), dus als de verlichting wordt opgedrongen.

Een apart punt is een door suboptimaal zicht en samengaand optreden van vermoeidheid en stress, en/of door een vermeend gevoel van veiligheid verhoogd risico van blootstelling aan 'predatie' in de vorm van misdaad en verkeersonveiligheid.

Relevantie kan ook worden ontleend aan de effecten van werken in ploegendienst. Vooral oudere mensen verdragen ploegendienst slecht, met slaapstoornissen en vermoeidheid als voornaamste klacht. In onze 24-uurs economie en met de toenemende vergrijzing wordt dit probleem steeds urgenter. De kosten van aan vermoeidheid gerelateerde ongelukken in de VS werden in 2001 in The Lancet geschat op jaarlijks 16 miljard dollar.

²² Het consumeren van een bepaalde hoeveelheid voedsel verdeeld over de hele dag doet hierdoor eerder dik worden dan wanneer diezelfde portie wordt verdeeld over twee of drie vaste maaltijden per dag.

3.2.3 Terugblik

De praktische relevantie van de fundamentele neuro-endocriene kennis is aanzienlijk. De risico's moeten, mede in verband met de lage drempelwaarden, serieus worden genomen. Het onderwerp krijgt toenemende onderzoeksinzet en publieke aandacht. De ontwikkeling ervan is baanbrekend en bevindt zich in een stroomversnelling. Wat de directe, niet neuro-endocriene aspecten betreft berust de beschikbare kennis op experimenten, empirie en anekdotes. De aandacht ervoor neemt toe in verband met het toenemend werken in ploegendienst en de vergrijzing (vermoeidheid en slaapproblemen; economische aspecten, gezondheidszorg).

3.3 Dieren

3.3.1 Dagdieren²³

- **Betrokken diergroepen**

* Zoogdieren:	- invloed deels goed bekend (aandeel neuro-endocriene invloed; laboratoriumexperimenten), deels matig tot nauwelijks bekend (doorwerking visueel-informatieve functie van licht op gedrag; vnl. veldwaarnemingen, anekdotes).
* Insecten:	- idem.
* Overige:	- overwegend meer anekdotische waarnemingen.

- **Directe effecten**

In hoofdlijnen als bij de mens (§ 3.2.1)²⁴

- **Doorwerking effecten**

* Algemeen:	- minder optimaal functioneren t.g.v. - vermoeidheid/ongemak/belasting/verslachte aandacht, stress: aantasting conditie; - neuro-endocriene ontregeling van de aansturing van lichaamsfuncties; o.m. beperking van de melatonine-af scheiding door de epifyse, onregeling metabolisme, hartslag, hersenactiviteit e.d. - suggesties voor stimulatie van optreden en groei van tumoren.
* Letsel, predatie:	- n.a.v. minder optimaal functioneren verhoogd risico op ongemak, letsel (bijv. verkeersslachtoffers) en predatie (ook i.v.m. langduriger blootstelling).

²³ Onder dagdieren wordt hier verstaan dieren die bij daglicht actief zijn en zintuiglijk (mede tot) overwegend van het zichtvermogen afhankelijk zijn

²⁴ * Neuro-endocrien: ontregeling van de aansturing van basale lichaamsfuncties.

* Gedragmatig: verlenging van de dagelijkse periode van activiteit ten koste van de rust- en herstelperiode, maar mogelijk ten gunste van activiteiten zoals i.h.b. van foerageren.

* Foerageren:	- competitie: toename intra- en interspecifieke concurrentie om beschikbaar voedsel.
	- verlenging van de dagelijkse foerageerperiode: compensatie van verkorting van de rust- en herstelperiode door kans op vergaren van meer voedsel lijkt op den duur echter onwaarschijnlijk.
* Voortplanting:	- risico van minder adequaat gedrag t.a.v. keuze, vestiging en verdediging van territoria, t.a.v. paarvorming en t.a.v. broedzorg/verzorging jongen.
* Als geheel:	- bedreiging van de overlevingskansen van individu en populatie.

- **Betrokken lichtparameters**

In hoofdlijnen als bij de mens (§ 3.2.1)²⁵. De drempelwaarden zijn daadbij naar verwachting veelal eerder lager dan hoger dan bij de mens.

3.3.2 Nacht- en schemeringsdieren²⁶

- **Betrokken diergroepen**

* Zoogdieren:	- invloed op gedrag bekend van anekdotische veldwaarnemingen.
* Vogels:	- bijv. uilen: anekdotische veldwaarnemingen van gedrag.
* Amfibieën:	- met name padden: idem.
* Insecten:	- met name nachtvlinders: deels goed bekend (neuro-endocriene invloed; laboratoriumexperimenten), deels matig tot nauwelijks bekend (doorwerking visueel-informatieve functie van licht).
* Overige:	- slecht bekend.

- **Directe effecten**

* Neuro-endocrien:	- als bij de mens en dagdieren (ontregeling van de aansturing van basale lichaamsfuncties).
* Gedragmatig:	- deels verlenging van die periode ten koste van de rust- en herstelperiode (vleermuizen die door licht worden aangetrokken, zie § 6.3; ook uilen?), maar mogelijk ten gunste van activiteiten zoals i.h.b. foerageren.
	- deels verkorting van de dagelijkse periode van activiteit (vleermuizen die door licht worden afgestoten, zie § 5.3; ook amfibieën?) ten nadele van het foerageren;

²⁵ * Illuminantie: blootstelling aan verlichting is bepalend; invloed neemt toe methogere verlichtingsintensiteit in de directe omgeving en met langduriger en grootschaliger verlichting.

* Luminantie: zicht op lichtbron is niet relevant.

* Golflengte licht: effect neemt toe met kortgolfiger licht.

* Drempelwaarden: onvoldoende bekend.

²⁶ Met nacht- en schemeringsdieren wordt hier bedoeld op dieren die in de schemering en het donker actief zijn, en overdag verscholen (in holen, holten, spleten, zeer dichte begroeiing) rusten.

- **Doorwerking effecten**

In hoofdlijnen als bij de mens (§ 3,2,1) (en dagdieren, § 3.3.1)²⁷

- **Betrokken verlichtingsparameters**

In hoofdlijnen als bij de mens en dagdieren (§ 3,2,1, § 3.3.1). De drempelwaarden zijn daarbij naar verwachting eerder lager dan hoger dan bij de mens; waarschijnlijk, gelet op de gevoeligheid van het oog van nacht- en schemeringsdieren, zelfs veel lager.

3.3.3 Toelichting

Algemeen

Verstoring van het dagelijkse ritme van 'waken en slapen' door verlichting betekent ook voor dieren dat de verstoring van het evenwicht tussen de periode van (mogelijke) activiteit en de periode van rust en herstel. Dit is afhankelijk van de intensiteit van de verlichting van de omgeving. Over drempelwaarden is echter nauwelijks iets bekend. Van nachtdieren is waargenomen dat zij bij volle maan en heldere hemel de gehele of vrijwel de gehele nacht actief kunnen blijven. Amerikaanse boomkikkers hebben aan $6 \cdot 10^{-5}$ lux al voldoende voor de waarmening van prooien (dat is de helft minder dan de mens). Bij gebrek aan specifieke gegevens moet volstaan worden met een globaal onderscheid tussen:

- zwakke verlichting, in de orde van grootte van $< 0,2$ lux; dus minder dan de natuurlijke lichtsterkte bij een heldere nacht met volle maan;
- sterke verlichting, in de orde van grootte van $> 0,3$ lux (leesdrempel voor de mens) tot > 10 à 20 lux (straatverlichting, resp. autosnelwegverlichting); dus waarbij sprake is schemering tot hel verlicht.

Het risico van verstoring van het dagnachtritme is afhankelijk van de verhouding tussen de verlichte ruimte en het leefgebied van het beschouwde dier. *Grosso modo* kan men stellen dat minder mobiele dieren, dus vooral kleinere dieren, meer risico lopen.

Endocrinologie en tumoren

De hiervoor gemelde recente aanwijzingen dat verstoring van het waakslaapritme door verlichting een stimulerende invloed uitoefent op de ontwikkeling van borstkanker, zal ongetwijfeld ook gelden voor zoogdieren. Gelet op de algemene centrale rol die melatonine bij endocriene processen in het hele dierenrijk speelt, mag

²⁷ * Algemeen: minder optimaal functioneren t.g.v. vermoeidheid/ongemak/belasting/verslachte aandacht, stress: aantasting conditie; neuro-endocriene ontregeling van de aansturing van lichaamsfuncties: o.m. beperking van de melatonine-af scheiding, ontregeling metabolisme, hartslag, hersenactiviteit e.d.

* Letsel, predatie: n.a.v. minder optimaal functioneren verhoogd risico op ongemak, letsel (bijv. verkeersslachtoffers) en predatie (ook i.v.m. langduriger blootstelling).

* Foerageren: competitie: toename intra- en interspecifieke concurrentie om beschikbaar voedsel; verkorting van de foerageerperiode: missen van de piek in beschikbaarheid van prooidieren (desynchronisatie met periode van activiteit van prooien elders, buiten de verlichte ruimte); verlenging van de dagelijkse foerageerperiode: compensatie van verkorting van de rust- en herstelperiode door kans op vergaren van meer voedsel lijkt op den duur echter onwaarschijnlijk

* Voortplanting: risico van minder adequaat gedrag t.a.v. keuze, vestiging en verdediging van territoria, t.a.v. paarvorming en t.a.v. broedzorg/verzorging jongen.

* Als geheel: bedreiging van de overlevingskansen van individu en lokale populatie.

worden aangenomen dat zo'n carcinogene werking in principe kan gelden voor tenminste de andere groepen van gewervelde dieren.

Het mogelijke risico zal in verband met de leefwijze in de praktijk echter veelal beperkter zijn dan bij de mens, tot nihil; zie het overzicht in par. 4.1.

Dagdieren - zicht en activiteiten

Verlichting betekent voor dagdieren, net als voor de mens dat die langer na het eind van de natuurlijke daglichtperiode actief kunnen blijven en eerder, voor het weer helemaal van nature licht wordt, weer actief kunnen worden. Zij kunnen dus ook een groter deel van het etmaal effectief benutten. De consequenties zijn in principe:

- een toenemend tekort aan rust c.q. slaap en een daardoor optreden van stress en minder goed functioneren: aantasting van de conditie, afname van de alertheid, e.d.; dit roept een verhoogd risico van blootstelling aan predatie (ook door verkeer) en een verhoogde vatbaarheid voor infecties e.d. op.
- een langduriger blootstelling aan het risico van predatie, versterkt door het voorgaande, zowel door eveneens langer actief blijvende overdag actieve predatoren als door in de schemering actieve predatoren zoals uilen en marterachtigen;
- facilitatie van activiteiten, vooral van foerageren, wat gunstig is voor de conditie, de overlevingskansen en het voortplantingssucces.

Hoe het geheel voor de overlevingskansen en het voortplantingssucces uitpakt, is niet duidelijk. Men mag aannemen dat de consequenties van het geheel in principe negatiever zijn naarmate de verlichting een groter deel van de nacht bestrijkt, de verlichtingsintensiteit hoger is en de verlichte ruimte groter is.

Zwakke verlichting van de omgeving betekent dat dagdieren in enigermate rust tekort zouden kunnen komen. Als de gelegenheid beschikbaar is, zou men misschien mogen men verwachten dat zij zich in de loop van de avond of nacht min of meer aan de verlichte omgeving zullen onttrekken door verlaat, meer of minder extra vermoeid, alsnog ter plekke of elders te gaan rusten of slapen. Dit is echter volstrekt speculatief. Sterke verlichting betekent voor dagdieren, als zij zich daaraan niet kunnen onttrekken, door snel toenemend rusttekort nog eerder een soort uitputtingsslag. In dit geval zou men eerder mogen verwachten dat zij zich er – als die mogelijkheid tenminste bestaat – op den duur in meer of mindere mate aan zullen onttrekken. Zo'n vermijden van verlichting komt neer op afstoting. Hoe reëel deze veronderstelling is, is echter niet duidelijk. Er is weinig over bekend. Uit eigen ervaring stamt de anekdotische waarneming van een tegen de verwachting geheel indifferent gedrag van een grauwe vliegenvanger, die een paar jaar broedde in een ouderwetse lantaarn aan de buitenmuur van het koetshuis van kasteel Broekhuizen in Leersum. De lamp in die lantaarn, een 40 watt peertje, brandde de gehele nacht. Daartegenover blijkt de grutto wel door verlichting afgestoten te worden; zie daarvoor § 6.

Nacht- en schemeringsdieren – zicht en activiteiten

Verlichting betekent voor schemeringsdieren in principe: beperking van de actieve periode. Dat kan vooral wat foerageren betreft ongunstig zijn voor de conditie en de alertheid, en daarmee voor het gehele functioneren. Dit roept een verhoogd risico op

van blootstelling aan predatie en een verhoogde vatbaarheid voor infecties e.d., en kan de overlevingskansen en het voortplantingssucces bedreigen.

Als voorbeeld: uit veldwaarnemingen blijkt dat de gewone dwergvleermuis en de rosse vleermuis later uitvliegen wanneer dichtbij de uitvliegopening verlichting aanwezig is. Door het verlate uitvliegen wordt een deel van de insectenpiek in de avondschemering gemist en moeten de dieren langer foerageren. Dit kost extra energie, waardoor uiteindelijk hun conditie negatief beïnvloed wordt²⁸.

De mogelijke consequenties nemen toe naarmate de verlichting sterker is. Bij sterke verlichting heeft als alternatief van uitputting alleen ontwijken zin - als dit al in de aard van het beestje zit en daar mogelijkheden voor zijn. Vooral sterke verlichting kan dus lokaal consequenties hebben voor de 's nachts actieve fauna.

3.3.4 Terugblik

De praktische relevantie van de fundamentele neuro-endocriene kennis en de ontwikkelingen in de onderzoeksinzet en publieke aandacht is als bij de mens (§ 3.2.1).

Dit geldt ook voor de directe, niet neuro-endocriene aspecten. De praktische relevantie hiervan is echter (vooralsnog?) niet zeer duidelijk. Het belangrijkste lijkt het risico van lokaal verdwijnen van dagdieren bij langdurig tot constant sterke verlichting; overigens is een oordeel bij de huidige stand van kennis hier niet verantwoord. Eventueel onderzoek zou zich moeten richten op dieren met een relatief kleinschalig ruimtegebruik, vooral ook die welke het gehele jaar ter plekke aanwezig zijn en naar verhouding een groot deel van het jaar en het etmaal dag bovengronds verkeren. Het heeft echter alleen zin als het tevens de andere mogelijke effecten (in het bijzonder aantrekking en afstoting) meeneemt.

²⁸ Bijv. Verboom in Koolstra *et al.* (2001)

4 Verstoring seizoensritme

4.1 Vooraf

Het gaat hier in wezen om de neuro-endocriene werking van het synchronisatiemechanisme van de biologische klok op lange termijn, dat wil zeggen de biologische kalender.

Bij het bespreken van de biologische klok is hiervoor al opgemerkt dat er op de aarde al ver voor het ontstaan van het eerste leven een cyclus van dag en nacht heerste. Daarin zit ook op langere termijn een patroon. Gaande van de evenaar naar de polen vertoont de dagelijkse verhouding tussen de lengte van de dag en van de nacht in toenemende mate een vaste jaarlijkse variatie: de korte winterse dagen gaan in het voorjaar weer lengen, in de zomer is de daglichtlengte het langst, in de herfst gaan de dagen weer korten. Dat is de basis van het optreden van de seizoenen met hun voor het leven op aarde wisselende bestaansmogelijkheden. Ook met dit gegeven heeft de ontwikkeling van het leven altijd rekening moeten houden. Die bestaansmogelijkheden worden vooral bepaald door de factoren temperatuur en beschikbaarheid van water en voedsel. Het is cruciaal voor het individu en het voortbestaan van populatie en soort om daarmee rekening te houden door daarop te anticiperen.

Het inspelen op de eindeloze regelmaat van de seizoensperiodiciteit in de dagelijkse afwisseling van licht en duisternis komt tot uiting in het bestaan het bioritme van de biologische kalender. Net zoals de biologische klok, maar dan op een andere tijdschaal, stuurt de biologische kalender de timing en opeenvolging van basale biochemische reacties, fysiologische processen en gedragingen, zodanig dat zij optimaal op elkaar en als geheel op de toestand van de buitenwereld van het organisme zijn afgestemd.

De kalender reguleert de synchronisatie van de jaarlijkse cyclus van opeenvolging van verrichtingen die essentieel zijn voor het individu en de populatie, met de daarvoor gemiddeld meest geschikte tijd van het jaar. Dat gaat om activiteiten, zoals seksueel actief worden, voortplanten, opvetten en het spijsverteringsstelsel aanpassen voor de najaartrek of het overwinteren, wegtrekken, overwinteren, weer uit de winterslaap ontwaken of terug trekken, enz., die qua tijd en inspanning een zekere tijd van voorbereiding en van afbouwen vergen. Dat vereist dat de nodige tijd vóór de periode van het jaar die gemiddeld het geschiktst is voor bijvoorbeeld het opgroeien van de jongen, voorbereidingen worden getroffen om het voorgaande af te bouwen en de voorbereiding voor het hele proces van voortplanting op te starten.

Omdat er ook in de biologische kalender speling zit, moet die gecorrigeerd worden. Weliswaar worden de bestaansmogelijkheden vooral bepaald door temperatuur en beschikbaarheid van water en voedsel, maar deze zijn te wisselvallig om goed houvast kunnen voor de timing van essentiële levensverrichtingen die een geruime tijd van voorbereiding vergen. Hiervoor biedt de nachtlengte een veel betrouwbaarder

houvast, in veel gevallen meer precies het overschrijden of onderschrijden van een bepaalde grens in het seizoensmatig verloop in de nachtlengte²⁹.

Ook hier speelt melatonine weer (mede) een sleutelrol in het doorgeven van de uitwendige fysische prikkel naar het inwendig, hormonaal aangestuurde functioneren: de duur van de nachtelijke toename in melatonine is evenredig met de lengte van de nacht, en dit is het signaal dat de informatie over dag- en nachtlengte codeert.

Het is overigens wel zo dat de temperatuur en de beschikbaarheid van water en voedsel de door het dagelijkse lichtdonkercyclus in gang gezette zaken kunnen bijstellen in de zin van bespoedigen/versterken of vertragen/afzwakken. De recente opwarming van het klimaat (broeikas effect) is dus een complicerende factor.

4.2 De mens

4.2.1 Overzicht

- **Effecten**

* Algemeen:	- de biologische kalender lijkt bij de mens met een moderne westerse leefwijze nog slechts zwak tot expressie te komen.
* Lichtparameters:	- als bij dieren.
* Effecten:	- onduidelijk.
* Verder:	- vgl. dieren; n.b.: het bij de mens kunnen optreden van de zgn. winterdepressie lijkt geen verband te houden met zijn biologische kalender.

4.2.2 Toelichting

Het bioritme van de biologische kalender is bij de mens oorspronkelijk goed ontwikkeld, maar komt waar die mens is meegegaan met de ontwikkeling van onze moderne westerse leefwijze nog slechts zwak tot uitdrukking. Toch vertoont die mens in samenhang met of mede onder invloed van de wisseling der seizoenen ook ritmische fluctuaties in tal van lichamelijke functies. Conceptie, geboortecijfer, geboortegewicht van pasgeborenen, secretie van hormonen, groeisnelheid van kinderen, geweldpleging en sterfte vertonen statistisch nog altijd schommelingen met de jaargetijden. Kort en illustratief samengevat: in het voorjaar zijn we nog altijd gemiddeld meer vatbaar voor 'vlinders in de buik' dan in andere delen van het jaar. Er speelt hierbij ook nog iets specifiek menselijks, dat zich laat verstaan uit het staartje van de karakterisering: de mens verschilt van het dier doordat hij eet wanneer hij geen honger heeft, drinkt als hij geen dorst heeft en het hele jaar door paart.

²⁹In de tropen, waar de lengte van dagen nacht globaal gesproken gelijk is, wordt het jaarlijkse bioritme vooral bepaald door de afwisseling van droge en natte perioden. Waar die afwisseling zich niet voordoet, is dat ritme afwezig.

Experimenteel onderzoek naar de effecten van verlichting worden echter in hoofdzaak verricht door gebruik te maken van proefdieren.

4.2.3 Terugblik

De beschikbare kennis is beperkt en het algemene belang ervan is onduidelijk. Nader literatuuronderzoek naar de 'state of the art' op dit moment is wenselijk.

4.3 Dieren

4.3.1 Overzicht

- **Betrokken groepen**

- | | |
|-----------|---|
| * Alle: | - invloed aangetoond, echter vrijwel uitsluitend in laboratoriumexperimenten. |
| * Vogels: | - idem; t.a.v. de invloed op trekdrang ook in buitenvolières; t.a.v. die op de voortplanting ook anekdotische waarnemingen. |

- **Effecten**

- | | |
|----------------|--|
| * Algemeen: | - ontregeling van de afstemming van levensverrichtingen op de daartoe gemiddeld meest geschikte tijd van het jaar. |
| * Doorwerking: | - risico van aantasting van de conditie, van mislukken van de voortplanting, de trek, de overwintering etc.
- als geheel: bedreiging voor de overlevingskansen van individuen en populatie. |

- **Betrokken verlichtingsparameters**

- | | |
|-------------------|--|
| * Illuminantie: | - ook hier is verlichting van de leefomgeving dé factor. |
| * Luminantie: | - heeft geen invloed. |
| * Lichtspectrum: | - algemeen: effect neemt toe met kortgolfiger licht; |
| * Drempelwaarden: | - laag, naar aanleiding van de voorgaande paragraaf vermoedelijk eerder lager dan hoger dan tussen 0,2 en 5 lux (blauwgroen licht) tot 100 lux (breedband wit licht) ³⁰ . |

- **Kans van optreden effecten**

Voor verstoring van het seizoensritme geldt dat de kans overeenkomt met die voor verstoring van het waakslaapritme (zie § 3.3.1 en § 3.3.2).

³⁰ Blask (2001), Brainard (2001)

4.3.2 Toelichting

Algemeen

De mate waarin een op korte termijn gewijzigd dagelijks ritme van licht en donker effect kan hebben, betreft vaak weken of meer vervroeging of vertraging. Dit verschilt echter van soort tot soort, en van de levensfase van het individu.

Een indruk van de ontregeling van die ontregeling van de jaarcyclus geven de volgende voorbeelden. Experimenten met Europese trekvogels die gedurende een jaar of langer bij een constante lichtdonkerverhouding zijn gehouden, tonen overwegend een verkorting van de jaarcyclus met 1 tot 4 maanden. Bij experimentele verkorting van de winternacht bleken alle 60 onderzochte vogelsoorten vervroegd tot voortplanting te komen. Zulke effecten kunnen aanzienlijke gevolgen hebben. Zo'n vervroeging van de voortplanting (de dagelijkse afwisseling van licht en donker 'zegt', onder invloed van verlichting = kortere nacht en langere dag, dat het al voorjaar is en tijd om wat te gaan doen aan de voorbereiding) kan dit essentiële proces doen plaatsvinden in een tijd waarin de temperatuur en/of de beschikbaarheid van voedsel minder gunstig daarvoor kunnen zijn. Dit is logisch, maar bij gebrek aan veldevidentie toch speculatief.

Standvogels en korteaafstandstrekkingers

De rijping van de testes van 'stadsspreuwen' in Engeland bleek al een halve eeuw geleden enkele weken voor te lopen op die van 'platte-landsspreuwen'. 'Stadsmerels' kwamen al omstreeks dezelfde tijd twee weken eerder tot broeden dan 'bosmerels'³¹.

Zoals gezegd, kan hier echter naast verlichting ook de beschikbaarheid van voedsel en de iets hogere temperatuur in de stad een rol bij spelen. Deze twee factoren kunnen het door de dagelijkse cyclus van licht en donker in gang gezette zaken bijstellen in de zin van bespoedigen of vertragen. Dit blijkt voor verschillende dieren verschillend te zijn. Uit onderzoek naar de invloed van de stijging van de gemiddelde temperatuur blijken koolmezen in ons land vroeger te gaan broeden en dus ook vroeger jongen te krijgen. De piek in de beschikbaarheid van voedsel voor de jongen = insecten vervroegt echter anders. Dit uit de pas te gaan lopen kan de hele voortplanting in gevaar brengen. Het is allerminst onwaarschijnlijk dat zoiets zich ook onder invloed van verlichting kan voordoen.

Trekvogels - langeafstandstrekkingers

Voor in onze streken broedende langeafstandstrekkingers, lijkt dit risico op het eerste gezicht minder groot dan voor onze standvogels. De trekvogels komen uit hun overwinteringgebieden in Afrika waar geen (grootschalige) verlichting aan de orde is en lopen pas bij aankomst in hun broedgebied in Nederland het risico blootstelling aan verlichting. Als dat het geval is, dan is inmiddels de voorbereiding van de voortplanting al in gang gezet, de verlichting hier 'doet' dan niet veel meer. Echter, onder invloed van de verlichting én van de opwarming van het klimaat is het voorjaar hier dan al ruim begonnen. De vogels komen dus weliswaar niet volgens de kalender verlaat aan, maar wel ten aanzien van de ecologische omstandigheden. Dat betekent

³¹ Havlin (1964)

dat de jongen het risico lopen dat de synchronisatie met de piek in de beschikbaarheid van voedsel verstoord is, d.w.z. te laat uitkomen om te kunnen profiteren van in het bijzonder insectenaanbod³². Dit geldt uiteraard in het bijzonder voor zangvogels met een beperkt leefgebied in de urbane tot suburbane sfeer ('parkvogels' e.d.).

Aan de andere kant zou verlating van de najaarstrek van vogels ertoe kunnen leiden dat met onvoldoende reserves wordt vertrokken, omdat de opbouw daarvan later in het jaar onder invloed van een verminderende beschikbaarheid van voedselvoorziening afneemt. Tijdens verlate trek kan verder het risico groter zijn dat een minder goed toegeruste vogel bovendien met ongunstige weersomstandigheden van doen krijgt. Dit zou ook weer vooral op moeten gaan voor zangvogels met een beperkt leefgebied in de suburbane sfeer.

Voor trekvogels die ver in het noorden op de toendra broeden en in onze streken overwinteren, is het risico van blootstelling aan verlichting geconcentreerd in de periode van hun verblijf hier. Dit risico zou ertoe kunnen leiden dat zij eerder weer naar hun broedgebied terugkeren. Dit is bekend van kleine zwanen die onder verlichting in Slimbridge, UK, foerageren. De vogels hebben dan de eerste stappen in de voorbereiding van de voortplanting al gezet. Bij aankomst in hun broedgebied kan dan blijken dat het daar nog volop winter is: aan de ene kant te koud, alles nog onder de sneeuw en dus nauwelijks voedsel beschikbaar, aan de andere kant predatie door poolvossen, sneeuwuil, jagers (arctische roofmeeuwen) en meeuwen die het aan het eind van de winter moeilijk hebben. Dit betekent een verhoogd risico voor het overleven van de pas gearriveerde broedvogels en voor het slagen van hun reproductie.

Overige

Dieren die een winterslaap houden, kunnen daar door verlating daarvan net zoals van hier in de herfst wegtrekkende trekvogels met onvoldoende reserves eraan beginnen, met alle risico's van dien. De consequenties kunnen zijn ook weer een minder optimale conditie, bedreiging van de voortplanting en verhoogd risico van sterfte onder langdurig ongunstige omstandigheden dan wel door te vroeg ontwaken.

4.3.3 Terugblik

De beschikbare kennis stoelt vooral op laboratoriumexperimenten; de vertaling daarvan naar veldsituaties berust vooral op (op zich logische) veronderstellingen. De praktische relevantie van die veronderstellingen is onvoldoende duidelijk, maar mede gelet op de waarschijnlijk lage drempelwaarden voldoende om rekening te houden met het risico van lokaal verdwijnen van populaties bij langdurig tot constant sterke verlichting (bijv. beschermde amfibieënsoorten) en mogelijk ook van trekvogels (vogels). De invloed van de lichtkwaliteit is echter evident. De kennis ten aanzien van die invloed geldt onverkort ook voor veldsituaties. Eventueel nader onderzoek zou zich kunnen richten op *dieren met een relatief kleinschalig ruimtegebruik die het

³² Both (2002)

gehele jaar ter plekke aanwezig zijn en naar verhouding een groot deel van het jaar en het etmaal bovengronds verkeren, en *in onze streken broedende trekvogels (zangvogels) met een beperkt leefgebied in de suburbane sfeer ('parkvogels' e.d.).

5 Hinder en afstoting

5.1 Vooraf

Hinder en afstoting, wel aangeduid als psychologische verblinding (*discomfort glare, psychological glare*), kunnen optreden als gevolg van het waarnemen van een – ten opzichte van de achtergrondverlichting - sterke lichtbron; ook van secundaire lichtbronnen zoals de air glow (koepel van oranje-geel verstrooid licht) boven verlichte structuren (gebouwen, kassen, torens etc.) en een plaatselijk verlichte omgeving. De term heeft betrekking op de reactie op de visuele perceptie van verlichting, zonder dat daarbij noodzakelijkerwijze sprake is van tijdelijke verblinding ten gevolge van de tijd nodig voor adaptatie van het oog of overprikkeling van het netvlies.

Hinder en afstoting lijkt daarnaast in mindere mate op te kunnen treden als gevolg van het waarnemen van een verlichte ruimte (illuminantie). Aanwijzingen hiervoor betreffen vooral de mens.

Het effect kan bestaan uit:

- bij de mens: ervaring van hinder, om wat voor moverende reden dan ook niet of onduidelijk gepaard gaand met gerichte vermijding van de zichtbaarheid van de lichtbron, maar wel met stress;
- bij de mens en het dier: afstoting, dat is gewijzigd ruimtelijk gedrag dat tot uiting komt in vermijding van de zichtbaarheid van de lichtbron; dit kan leiden tot desynchronisatie (niet op de juiste plek aankomen).

5.2 De mens

5.2.1 Overzicht

• Effecten

* Psychisch:	- bekend, vooral - tot mogelijk alleen – hinder, ergernis, prikkelbaarheid;
* Fysiek	- vermoeidheid, stress; verder, zoals slaapstoornissen, onbekend dan wel niet aangetoond - maar niet uitgesloten;
* Gedragmatig	- vermijding.
* Doorwerking:	- algemeen: minder optimaal functioneren; - fysiek: verhoogd risico van ongemak en letsel t.g.v. ergernis, afgeleide en/of verslachte aandacht, etc., vermoeidheid niet uitgesloten; - gedragmatig: beperking van ruimtegebruik = bewegingsvrijheid; - beleving: derving van positieve ervaring van de omgeving; - sociaal: mogelijk verminderde sociale participatie in dagelijks leven.

- **Betrokken verlichtingsparameters**

* Luminantie:	- lijkt de meeste/sterkste invloed te hebben (uiteraard alleen als de lamp of het lichtvenster niet zijn afgeschermd); - ook 'secundaire luminantie' = gelig-oranje air glow in atmosfeer boven verlichte bouwwerken (steden, kassencomplexen), plaatselijk verlichte omgeving.
* Illuminantie:	- lijkt minder sterke invloed te hebben.
* Idem, contrast	- sterk contrast in verlichting kan aanzienlijke invloed hebben ('vanuit licht tegen muur van duisternis aanlopen');
* Lichtspectrum:	- invloed (empirie) vooral van ultraviolette tot blauwe golflengten.
* Drempelwaarden:	- geen kwantitatieve gegevens; afhankelijk van contrast met omgeving- of achtergrondverlichting.

5.2.2 Toelichting

Onze waardering van duisternis wordt ernstig gehinderd doordat wij nu eenmaal 'dagdieren' zijn. In onze technologisch hoog ontwikkelde, sociaal-economisch complexe, welvarende en geïndividualiseerde samenleving met zijn tendensen naar hedonisme, naar een 24-uurs economie, naar onbeperkte mobiliteit e.d. is verlichting een belangrijke faciliteit.

Evenzeer en complementair is er een sterke tendens naar een groeiende behoefte aan ontspanning en rust, aan tot zichzelf komen. Daarbij spelen de eigen woonomgeving en recreatie in de natuur een belangrijke rol. Het verkeren in een groene omgeving betekent voor velen een ervaring van tot rust brengende natuur, hoezeer dat groen ook in wezen door de mens gemaakt of beïnvloed kan zijn. Wat men in zo'n situatie als niet-natuurlijk ervaart, doet afbreuk aan de beleving: uitzicht op torenflats of op een industriecomplex, de hoorbare nabijheid van een drukke snelweg, enz. roepen ergernis en verontrusting op. Hierbij aan sluit ook de beleving van de natuurlijke afwisseling van dag en nacht, met zijn seizoensvariatie, en de verstoring daarvan door verlichting.

Hoewel hiernaar geen gericht onderzoek is verricht, is de algemene opinie dat verlichting niet 'zomaar' als hinderlijk wordt ervaren, maar dat het hierbij gaat om verstoring van iets fundamenteels-existentieels, iets dat er in de loop van de evolutie, van ver voor de mens al altijd is geweest - 'er zou geen dag zijn als er geen nacht bestond'. Verstoring van het 'oergegeven' van de natuurlijke afwisseling van dag en nacht zou ons dus diep moeten raken (vgl. par. 4.1, 5.1). Dat lijkt pregnant naar voren te komen de symbolische en mythologische betekenis die licht en duisternis in (welhaast?) alle culturen wordt toegedicht. We kunnen het echter niet makkelijk rationaliseren, niet helder 'vatten' en onder woorden brengen. Hierdoor blijft het steken in het bijvoorbeeld voren brengen dat aan de kwaliteit van ons bestaan afbreuk wordt gedaan doordat in onze streken het zicht van de nachtelijke hemel door de verlichting vervaagt. Er groeien hier mensen op die een nachtelijke hemel bezaaid met duizenden sterren niet kennen en nog nooit de melkweg gezien hebben.

Onder (vooral amateur)astronomen wordt steen en been geklaagd over de vertroebelende lichtvervuiling van de nachtelijke atmosfeer.

Bij mensen uit psychologische verblinding zich in het ervaren van hinder, al dan niet gepaard gaand met bewuste vermijding van de zichtbaarheid van de lichtbron. Uit onderzoek³³ blijkt dat dit zich in vrij sterk kan voordoen.

Het dubbele is echter dat tegenover de psychologische verblinding het min of meer bewust beleefde nut van de verlichting staat: het kunnen zien in het donker, het de situatie kunnen overzien, het – al dan niet vermeende – gevoel van veiligheid dat dit oproept. De mate van ervaren van hinder is hierdoor afhankelijk van de persoon, zijn/haar gemoedstoestand, het doel waarmee hij/zij zich gedwongen of vrijwillig naar buiten begeeft, zijn/ haar ervaring en referentiekader, etc.

Naast deze individuele utilitaire benadering speelt ook een psychische factor een rol: de associatie met persoonlijk meer en minder gewenste zaken. Een econoom, technicus of boer kán (maar hoeft niet) heel anders aankijken tegen een fel verlicht industrieterrein of een hel verlicht kassencomplex dan een natuurbeschermer of een milieuvorvechter.

5.2.3 Terugblik

Het effect van hinder bij mensen is redelijk goed bekend uit daartoe gehouden enquêtes naar de beleving van assimilatieverlichting in kassen³⁴. Het is in de praktijk reëel en van belang voor de kwaliteit van de woonomgeving, van de extensieve recreatie en de natuurbeleving. Verbreding en verdieping van het onderzoek, o.a. door enquêtes en epidemiologisch onderzoek, is wenselijk.

³³ GGD, TNO; zie ook Gezondheidsraad (2000)

³⁴ Idem

5.3 Dieren

5.3.1 Overzicht

• Betrokken diergroepen

* Zoogdieren:	- terrestrische zoogdieren: lijkt, voor zover bekend, niet algemeen voor te komen; - vleermuizen: bekend van watervleermuis, en verwante soorten ³⁵ .
* Vogels:	- aangetoond bij weidevogels (= grutto, als indicator voor weidevogels en broedvogels van open terrein i.h.a.).
* Amfibieën	- aanwijzing voor kikkers (in tegenstelling tot padden en salamanders die evident worden aangetrokken).
* Insecten:	- lijkt incidenteel voor te komen.
* Zooplankton	- hoofdlijnen bekend, specifieke kennis echter gebrekkig.
* Overige:	- onbekend.

• Effecten

* Algemeen:	- beperking van ruimtegebruik, verlies aan leefgebied.
* Zoogdieren:	- idem, i.h.b. voor enkele vleermuissoorten.
* Vogels:	- beperking van de nestplaatskeuze (afname broedvogelstand).
* Zooplankton:	- verstoring van de dagelijkse verticale migratie van zooplankton (algengrazers en predatoren) van diep (dag) naar ondiep (nacht) en terug naar diep (dag) in het water.
* Predatie:	- mogelijk enigszins verhoogd risico.

* Doorwerking, alg.:	- barrièrewerking/isolatie = biotoopversnippering en -beperking; - risico van afname van de populatie(dichtheid) en van versnippering van de populatie; - bedreiging overlevingskansen individu en populatie; interspecifieke verschuivingen in aantalsverhoudingen.
* Id., zooplankton:	- risico van algenwoekering (algenbloei), van afname van het zooplankton en van aantasting van het voedselweb en de waterkwaliteit.

• Betrokken verlichtingsparameters

Als bij de mens (§ 5.2.1)³⁶

³⁵ Dit is althans de gangbare interpretatie van de afwezigheid van deze soorten bij buitenverlichting. De afwezigheid kan echter ook worden verklaard als een gevolg van concurrentie met andere vleermuissoorten, zoals in Scandinavische literatuur wordt gedaan.

³⁶* Luminantie: lijkt de meeste/sterkste invloed te hebben; in mindere mate ook invloed van 'secundaire luminantie' = gelig-oranje air glow in atmosfeer boven verlichte bouwwerken, plaatselijk verlichte omgeving.

* Illuminantie: lijkt minder sterke invloed te hebben; sterk contrast in verlichting kan aanzienlijke invloed hebben ('vanuit licht tegen muur van donker aanlopen of in zwart gat stappen')

* Lichtspectrum: invloed vooral van ultraviolette tot blauwe golflengten.

* Drempelwaarden: geen kwantitatieve gegevens; afhankelijk van contrast met omgeving- of achtergrondverlichting.

5.3.2 Toelichting

Bij dieren is alleen het effect van de fysieke reactie bekend. Het lijkt zich – vooralsnog? – niet zeer algemeen voor te doen.

Het is aangetoond bij de grutto (De Molenaar *et al.* 2000) en treedt naar verwachting op bij broedvogels van open terrein in het algemeen³⁷. De consequenties van afstoting zijn:

- verlaagde populatiedichtheden van soorten nabij verlichting;
- isolatie van deelpopulaties c.q. versnippering van habitats, in het bijzonder waar sprake is van verlichting van/in ecologische verbindingsroutes;
- bij wegverlichting: versterking van isolerende dan wel versnipperende werking van wegen.

Bij terrestrische zoogdieren is het niet aangetoond (De Molenaar *et al.* 2003), bij enkele vleermuissoorten daarentegen wel. Kikkers lijken ook te worden afgestoten. Het verschijnsel is ook bekend van ongewervelde waterdieren waarvan bekend is dat zij zich onder de invloed van licht en donker dagelijks verticaal in het water verplaatsen. Zooplankton (algengrazers en predatoren) houdt zich bij daglicht op in de diepte, en 's nachts nabij de oppervlakte. Nachtelijke verlichting kan de migratie naar de oppervlakte beperken tot tenietdoen, en daarmee de ecologie van sloot en plas verstoren. Hierdoor kunnen de algen gaan woekeren en het zooplankton afnemen. Dat zal consequenties hebben voor het gehele voedselweb en de waterkwaliteit aantasten³⁸. De kennis hierover is echter (nog) globaal.

³⁷Een artikel over het onderzoek aan de grutto in de Volkskrant van 7 december 2000 komt tot een afgezwakte conclusie. Deze gebeurt door de habitatkwaliteit van het onderzoeksgebied te negeren. Deze kwaliteit was als geheel uitzonderlijk goed. Het blijkt uit dit onderzoek, zoals dat ook naar voren komt uit het onderzoek van Reijnen (1995) naar de invloed van wegverkeer op vogels, dat negatieve invloeden van buitenaf door een hoge habitatkwaliteit kunnen worden gedempt. De habitatkwaliteit van het onderzoeksgebied bleek zelfs dusdanig goed, dat de invloed van het wegverkeer hier statistisch niet kon worden aangetoond. Die invloed had hier bij gemiddelde terreinomstandigheden meer dan een kilometer ver moeten reiken. Desondanks bleek wel sprake van een statistisch significante invloed van de verlichting. Het lijkt er dus eerder op dat de invloed van de verlichting sterker is dan die van het wegverkeer. Bovendien negeert het artikel de opmerkelijke nestplaatstrouw van de grutto, die overigens ook door andere weidevogels wordt vertoond, waardoor de invloed van verlichting werd geremd. Deze remming bleek op een afstand van 300 tot 500 meter vanaf de verlichting te leiden tot een stuwing van nesten, die naar verwachting met verloop van tijd zal afzakken en verdwijnen. Het artikel negeert verder ook de veranderingen in het patroon van de habitatkwaliteit van de afzonderlijke percelen tijdens het onderzoek; zie onderstaande tabel. Wel met een en ander rekening houdend, is de veronderstelling veeleer dat het afstotende effect in een gemiddeld tot redelijk goed weidevogelgebied op termijn waarschijnlijk aanzienlijk groter kan zijn en verder kan reiken dan in het onderzoek is vastgesteld.

Relatief aantal gruttonesten per 100 x 100 m op de percelen die, volgens een vijfdelige schaal voor de habitatkwaliteit, tussen de beide waarnemingsjaren niet of slechts één klasse in kwaliteit veranderden.

Afstand tot de lichtmastenrijen	Aantal nesten per 100 x 100 m, in percentages van het totale aantal nesten per jaar		Relatief aantal nesten per 100 x 100 m 1998 : 1999
	1998, licht uit	1999, licht aan	
0-300 m	1,37	0,90	1 : 0,7
300-500 m	1,05	1,96	1 : 1,9
500-1000 m	0,70	0,75	1 : 1,1

³⁸ Pers.meded. Marianne V. Moore & Susan J. Kohler

De mate van effect is primair afhankelijk van de sterkte van de lichtbron, maar wordt in de praktijk uiteraard bepaald door de waarneembaarheid van de lichtbron en het contrast met de achtergrondverlichting. Bij gelijke lichtbronnen en achtergrondverlichtingen wordt de effectafstand dus in hoge mate bepaald door de mate van boven- en zijwaartse afscherming van de lichtbron, de hoogte van de lichtbron en de 'lichtdoorlatendheid' van het landschap. Hetzelfde geldt voor de illuminantie.

5.3.3 Terugblik

Afstoting door verlichting is niet algemeen maar van de diergroepen die het vertonen redelijk veelal goed bekend uit veldonderzoek en min of meer anekdotische waarnemingen (De Molenaar *et al.* 1997, 2000, 2003). Het moet van aanzienlijke betekenis worden geacht voor vleermuizen, de avifauna van vooral open (tot halfopen) natuurterreinen, i.h.b. weidevogels, en voor aquatische ecosystemen. Verbreding en verdieping van het onderzoek wenselijk.

6 Aantrekking

6.1 Vooraf

De verklaring voor het verschijnsel is niet duidelijk. Aantrekking komt voort uit visuele fixatie en is mogelijk in reactie op de waarneming van een t.o.v. de achtergrondverlichting relatief sterke lichtbron (luminantie) of, in mindere mate, een t.o.v. de achtergrondverlichting relatief sterk verlicht deel van de omgeving van buiten die verlichting. Naast deze primaire aantrekking bestaat ook secundaire aantrekking, dat wil zeggen aantrekking van predatoren door prooien die door verlichting worden aangetrokken (bijv. vleermuizen en insecten).

6.2 De mens

6.2.1 Overzicht

- **Effecten**

* Algemeen: - mogelijk risico van desoriëntatie; het mogelijk optreden van het verschijnsel is echter onduidelijk

* Doorwerking: - mogelijk risico van belasting, ongemak, hinder, ergernis, afleiding > stress > tijdelijk disfunctioneel gedrag / minder optimaal functioneren > verhoogde kans op oplopen van letsel (stoten, struikelen, ongevallen in het verkeer).

- **? Betrokken verlichtingsparameters**

* Luminantie: - speelt een sterke rol.

* Illuminantie: - rol moeilijk te scheiden van de rol van illuminantie, werkt waarschijnlijk minder sterk.

* Lichtspectrum: - n.a.v. de situatie bij dieren, vooral door korte golflengten (ultraviolet tot blauw);

* Drempelwaarden: - vraagteken.

Complicatie: onduidelijk onderscheid met verblinding.

6.2.2 Toelichting

Bij mensen treedt aantrekking veel minder duidelijk op dan bij dieren. De waarneming van een t.o.v. de achtergrondverlichting relatief sterke lichtbron, of een t.o.v. de achtergrondverlichting relatief sterk verlicht deel van de omgeving van buiten die verlichting, lijkt nogal beïnvloed te worden door kennis van en ervaring met de situatie of

vergelijkbare situaties; ergo door de interpretatie van de waarneming die op zich als gevolg van fixatie zou kunnen leiden tot aantrekking – of mogelijk indifferentie. Aantrekking is wellicht herkenbaar in de ervaring dat de weggebruiker bij 's nachts tegemoetkomende en lichtvoerende voertuigen de neiging kan ondervinden om naar de linker weghelft te sturen. Aantrekking is vooral bij de mens moeilijk te onderscheiden van het effect van verblinding (zie aldaar) en lijkt bij dat laatste wel op te treden bij ten gevolge van traagheid van de adaptatie van het oog.

6.2.3 Terugblik

De geraadpleegde beschikbare kennis is beperkt en anekdotisch. Het voorgaande berust mede op interpretatie van eigen ervaring. Nader literatuur- en praktijkonderzoek lijkt zeer gewenst in verband met het mogelijke algemene belang voor in het bijzonder de weggebruiker.

6.3 Dieren

6.3.1 Overzicht

• Betrokken diergroepen

* Algemeen:	- veel voorkomend verschijnsel
* Zoogdieren:	- primair effect bekend van kleine roofdieren (vos, bunzing, hermelijn); - secundair effect: vleermuizen (anders dan watervleermuis en enkele andere soorten; zie daarvoor § 5.3.1) op door licht aangetrokken insecten; mogelijk ook andere insecten- en aaseters op verzwakte, uitgeputte en stervende tot dode lamplachtoffers?
* Vogels:	- primaire aantrekking, bij foerageren en verplaatsingen: aanwijzingen; - secundair waarschijnlijk ook aaseters (als bij zoogdieren). n.b. bij nestplaatskeuze blijkt voor de grutto als indicator voor broedvogels van open terrein juist sprake te zijn van afstoting.
* Reptielen:	- onbekend van inheemse soorten en verwanten (wel: bijv. gekko's, secundair; mogelijk: jonge zeeschildpadden).
* Amfibieën	- uitvoerig bekend (padden, salamanders).
* Vissen:	- van veel soorten bekend (n.b. commerciële nachtvisserij met lampen), maar minder bekend van inheemse zoetwatersoorten en verwanten.
* Insecten:	- zeer bekend van nachtinsecten.
* Overig:	- aantrekking van nachtspinnen is waarschijnlijk secundair.

• **Effecten**

* Algemeen:	- desoriëntatie / disfunctioneel gedrag; - beperking van ruimtegebruik, verlies aan leefgebied.
* Doorwerking	- algemeen: aantasting conditie, uitputting, sterfte; - algemeen: ruimtelijke concentratie van individuen ('stofzuiger-effect'); - predatie en mortaliteit: - algemeen: verhoogd risico van predatie; - insecten, vogels: verhoogd risico van aanvliegen van obstakels (lichtbron, ramen, e.d.); - vleermuizen, egels, amfibieën, insecten bij straatverlichting: - verhoogd risico verkeersslachtoffers. - voortplanting: - mislukking door bij het licht blijven; padden, salamanders: - niet bereiken voortplantingsbiotoop; insecten: niet vinden potentiële partners, afzetting van eieren op t.a.v. predatie en infecties perspectiefarme tot perspectiefloze plekken. - voedsel, vleermuizen: - uitputting geconcentreerd stapelvoedsel (t.g.v. sterfte onder aangetrokken insecten, overexploitatie); - interspecifieke voedselconcurrentie ten koste van tragere vliegers (i.h.b. Myotussoorten).
* Als geheel:	- barrièrewerking / isolatie van deelpopulaties; - bedreiging overlevingskansen individu en populatie; wat de populatie betreft vooral van kleinere populaties in geïsoleerde biotopen; - intra- en interspecifieke verschuivingen in aantalsverhoudingen.

• **Betrokken verlichtingsparameters**

* Luminantie:	- speelt een sterke rol.
* Illuminantie:	- rol moeilijk te scheiden van de rol van illuminantie, werkt waarschijnlijk minder sterk.
* Lichtspectrum:	- insecten: vooral door kortgolvig licht (ultraviolet tot blauw); - amfibieën: vooral door blauw licht (mogelijk [mede] secundair?); - vogels: idem; aantrekking door geel tot rood licht is waarschijnlijk primair een ander verschijnsel (zie par. 9); - zoogdieren - kleine roofdieren: onbekend, mogelijk vooral door kortgolvig licht; vleermuizen, secundair: ultraviolet tot blauw licht; - reptielen, mogelijk secundair: korte golflengten.
* Drempelwaarden:	- geen kwantitatieve gegevens, afhankelijk van het contrast met de intensiteit van de achtergrondverlichting; - omstreeks nieuwe maan, zonder achtergrondverlichting, op grond van de lichtgevoeligheid van de ogen van de dieren waarschijnlijk zeer laag (padden < 0,01 tot < 0,0001 lux).

Complicaties: verstoring van het magnetisch oriëntatievermogen (vogels, amfibieën) en verblinding, zie § 9.

6.3.2 Toelichting

Bij dieren komt het verschijnsel tot uiting door het zich naar de lichtbron toe begeven en daarna daar doelloos rond blijven bewegen of er blijven zitten. Het kan bij het naderen van de lichtbron overgaan in fysiologische verblinding (zie hierna). Het gaat gepaard met in het licht gevangen raken. Dit is in het bijzonder goed bekend van nachtinsecten, al sinds Aristoteles.

In het algemeen is sprake van een sterkere aantrekking, naarmate het spectrum van het uitgezonden licht kortgolfiger is of een groter aandeel kortgolfiger straling bevat (blauw < violet < ultraviolet). Vooral van insecten is dit op grote schaal goed bekend en gedocumenteerd. Deze kennis is in de praktijk wel toegepast om hinderlijke insecten in bepaalde lokaliteiten aan te trekken, om ze vervolgens te elektrocuteren. Van amfibieën, in het bijzonder padden, is bekend dat aantrekking al optreedt bij uiterst geringe lichtintensiteiten. Uit nog niet gepubliceerd praktijkonderzoek blijkt dat padden op minstens 200 meter van een normale straatlantaarn al worden aangetrokken. Dat moet voor deze 'laag-bij-de-grondse' dieren dus wel in eerste instantie vooral het gevolg zijn van waarneming van de luminantie van de lamp. Bij het blijven rondhangen bij de lantaarnpaal speelt de illuminantie waarschijnlijk ook een rol.

Aantrekking betekent voor vliegende dieren (insecten, vogels) een risico van zich kunnen dood vliegen. Minder vergaand is in eerste instantie het zinloos om de lichtbron blijven rondvliegen. Dit trekt secundair predatoren aan, wat insecten betreft in het bijzonder vleermuizen, die door hun concentratie de insectenwolk sterk kunnen uitdunnen. Of de insecten blijven rondvliegen tot ze door uitputting overmand neerstrijken of -vallen, en vormen dan een gemakkelijke prooi voor predatoren. Overigens lopen die predatoren bij straat- en wegverlichting, net zoals die insecten, op hun beurt een verhoogd risico om aan het verkeer ten slachtoffer te vallen. Padden en andere amfibieën (salamanders) die bij straatverlichting blijven rondhangen, lopen eveneens een verhoogd risico om aan het verkeer ten slachtoffer te vallen³⁹.

De voortplanting kan ook op een andere manier ontregeld worden. Van nachtvlinders is bekend dat door verlichting aangetrokken drachtige vrouwtjes hun eieren als gevolg van uitputting kunnen afzetten op plekken die vanwege predatie- en

³⁹ Uit eigen ervaring is zo het uitsterven van een populatie kamsalamanders in de Betuwe bekend. Na plaatsing van verlichting bij een opslaghal bij de Rijnbandijk in het midden van de jaren zeventig, werden de dieren die tijdens de paartrek de dijk overstaken door die verlichting aangetrokken en het eerstvolgende voorjaar bij tientallen op de dijk doodgereden. De daaropvolgende jaren nam het aantal slachtoffers snel af, en na vier jaar was en bleef het over en uit. Zie ook Baker (1990). Andersom kan deze negatief uitpakkende aantrekking van amfibieën door wegverlichting in de paartrektijd ook positief worden aangewend door overzetplaatsen, waar ze worden opgevangen, te verlichten.

infectierisico's een sterk verminderd tot geen perspectief bieden. Van haften is bekend dat de mannetjes in de voortplantingstijd grote afstanden afleggen om de meer plaatstrouwe vrouwtjes te bezoeken. Als de paarvlucht van de mannetjes ten gevolge van aantrekking door verlichting wordt afgeleid, bereiken zij hun doel niet en komt er van paren en voortplanten niets terecht. Dit kan binnen een straal van kilometers de populaties van dergelijke insecten met uitsterven bedreigen.

De werking van aantrekking wordt wel getypeerd als het leeg zuigen van de omgeving, als het 'vacuum cleaner effect'. De consequenties ervan zijn:

- verlaagde populatiedichtheden van soorten nabij verlichting;
- isolatie van deelpopulaties c.q. versnippering van habitats, in het bijzonder waar spra-ke is van verlichting van/in ecologische verbindingroutes;
- bij wegverlichting: versterking van de isolerende dan wel versnipperende werking van wegen.

De mate van effect is primair afhankelijk van de sterkte en de spectrale samenstelling van de emissie van de lichtbron, maar wordt in de praktijk uiteraard bepaald door de waarneembaarheid daarvan. Bij gelijke lichtbronnen wordt de effectafstand dus in hoge mate bepaald door de mate van boven- en zijwaartse afscherming van de lichtbron, de hoogte van de lichtbron en de 'lichtdoorlatendheid' van het landschap.

Wat vogels betreft (afgezien van aantrekking door zeer sterke lichtbronnen zoals vuurtorens; zie § 8), die lijken te worden aangetrokken door geel tot rood licht, gaat het zeer waarschijnlijk primair om iets anders. Dat wil zeggen om een reactie op verstoring van de magnetische oriëntatie van trekvogels door geel tot rood licht (zie § 9). Als het dan niet of minder mogelijk is om terug te vallen op aanvullende oriëntatiemogelijkheden (afdekking van de sterrenhemel door bewolking) kan de aantrekking een gevolg zijn van 'visueel houvast zoeken'.

6.3.3 Terugblik

Het verschijnsel is goed bekend en betreft vooral in de schemering en in de nacht actieve dieren, in het bijzonder een relatief aanzienlijk aantal voor het natuurbehoud belangrijke, kwetsbare en bedreigde soorten (soorten van Rode Lijsten, de Habitat- en Vogelrichtlijnen, e.d.).

Verbreiding en verdieping van het onderzoek van zoogdieren, inclusief vleermuizen, en vogels is wenselijk, vooral t.a.v. de effectafstand en het verband tussen verkeersslachtoffers en wegverlichting.

7 Aantrekking door misleiding

Een qua effect moeilijk van directe aantrekking te scheiden, maar wat de achtergrond betreft nogal opzichzelfstaand verschijnsel is desoriëntatie in de vorm van misleiding als gevolg van foutieve interpretatie van de visuele waarneming.

Vogels en insecten kunnen tijdens zowel dagelijkse trek als paartrek (insecten) en/of seizoenstrek (vogels) ook door verlichting worden misleid. Dit betreft in het bijzonder zee-, water- en moerasvogels en waterinsecten. Deze blijken verlichte, door neerslag, dauwafzetting e.d. glanzende oppervlakten zoals gladde asfaltwegen en parkeerplaatsen, daken van kassen en soms ook gladgeschoren vochtige grasvelden (sportvelden) aan te kunnen zien voor een wateroppervlak en daarop neer te strijken. Deze misinterpretatie leidt tot een verhoogd risico van predatie, vooral op gladde oppervlakken waarvan de dieren slechts moeizaam in staat zijn op te vliegen of zich anderszins te verwijderen. Op wegen verhoogt dit ook het risico van ten slachtoffer vallen aan het verkeer, waarop ook erop afkomende predatoren en aaseters aan een verhoogd risico van doodgereden worden bloot komen te staan.

Een nogal dramatisch voorbeeld van de gevolgen van zulke misleiding zijn op het eiland Kauai (Hawaii) waar Newell's stormvogel en Hawaiaanse stormvogel, die overdag in hollen broeden en 's nachts op zee voedsel zoeken, afgenomen zijn tot slechts een fractie van hun aantallen voordat buitenverlichting daar grootschalig zijn intrede deed⁴⁰.

⁴⁰ Pers. meded. Richard Podolsky

8 Verblinding

8.1 Vooraf

In de Engelstalige literatuur wordt veelal fysiologische verblinding aangeduid met de term 'physiological glare'. Dit treedt op bij

- het kijken in het licht van een sterke lichtbron zonder meer;
- groot contrast tussen een sterke achtergrondverlichting en objecten in de omgeving of de duisternis buiten de verlichting; dus i.h.a. aan de orde bij de overgang van een duistere omgeving naar een verlichte omgeving, en andersom

Het effect is sterker naarmate de spectrale samenstelling van het door de lichtbron uitgezonden licht kortgolfiger is, d.w.z. meer blauw en UV bevat. Afgezien daarvan, gaat het zowel in het geval van de luminantie als dat van de illuminantie om de tijd die adaptatie van het oog aan de gewijzigde lichtomstandigheden vergt. Het effect is dus afhankelijk van de mate van verschil in lichtintensiteiten (oppervlaktehelderheid en verlichtingssterkte) en van de soortspecifieke adaptatiesnelheid van het oog. Het verschijnsel kan volgen op aantrekking (zie § 6).

8.2 De mens

8.2.1 Overzicht

- **Effecten**

* Algemeen:	- tijdelijke verblinding.
* Doorwerking:	- belasting, hinder, ergernis, afleiding; stress; - tijdelijk minder optimaal functioneren (ongemak); - verhoogd risico van oplopen van letsel (stoten, struikelen, botsing in het verkeer).

- **Betrokken verlichtingsparameters**

* Luminantie:	- in de praktijk ± relevantst (bij in de lamp kijken).
* Illuminantie:	- aan de orde bij sterke contrasten in verlichting.
* Lichtspectrum:	- invloed neemt (waarschijnlijk) toe naarmate het licht meer kortgolfige straling bevat.
* Drempelwaarden:	- afhankelijk van de mate van zichtbaarheid van andere heldere lichtbronnen in de omgeving en van de verlichting door die andere bronnen (relatieve intensiteit van de achtergrondverlichting).

8.2.2 Toelichting

Bij de mens zijn empirisch vele voorbeelden bekend. Een ieder kan wel uit eigen ervaring putten. Om toch enkele voorbeelden te noemen: de mens die vanuit fel zonlicht een donkere ruimte ingaat of, omgekeerd, degene die vanuit een helder verlichte kamer de donkere nacht instapt, en het verschijnsel van de automobilist die in het grote licht van een tegenligger het zicht op de wegsituatie verliest, met alle risico's van dien (van de weg raken, op die tegenligger botsen). In het laatste geval kan overigens ook een element schuilen van interactie met aantrekking (zie daar). Ook bekend is het vergelijkbare effect van achtergrondverlichting die de oriëntatie ten behoeve van de eigen activiteit belemmert, doordat minder verlichte zaken tegen die verlichting wegvallen. Als voorbeeld ook weer uit het verkeer: situaties met intensief verlichte sportvelden en industrie- en bedrijventerreinen pal langs snelwegen. Niet helemaal hetzelfde adaptatieverhaal is het afleiden van de aandacht door bijv. verlichte kassen nabij de weg.

8.2.3 Terugblik

De beschikbare kennis van de effecten is nogal empirisch-anekdotisch; de werking van het mechanisme is al lang en goed bekend. De problematiek is relevant voor de verkeersveiligheid, en de veiligheid 'om huis' (avondwandelingen e.d.). Eventueel nader onderzoek zou met name de analyse van (verkeers)ongevallenstatistieken kunnen betreffen.

8.3 Dieren

8.3.1 Overzicht

- **Betrokken diergroepen**

* Zoogdieren:	- bekend (vooral uit het wegverkeer).
* Vogels:	- bekend uit uiteenlopende praktijksituaties (vooral vroeger ook vuurtorens).
* Insecten:	- bekend.
* Overige:	- aanwijzingen; overigens (zeer) waarschijnlijk.

- **Effecten**

* Algemeen:	- tijdelijke verblinding;
* Doorwerking:	- desoriëntatie: belasting, hinder; stress; - tijdelijk minder optimaal/adequaat functioneren. - verhoogd risico van mortaliteit ten gevolge van predatie, zich dood vliegen, aangereden worden.
* Als geheel:	- bedreiging voor voortbestaan individu, en lokaal voor kleine geïsoleerde populaties.

- **Betrokken verlichtingsparameters**

Als bij de mens.

8.3.2 Toelichting

Het effect van fysiologische verblindings kan ook bij dieren weer bestaan uit:

- verblindings = adaptatieprobleem = desoriëntatie in de vorm van plotseling door licht geraakt worden of in licht gevangen raken;
- verblindings in de vorm van het wegvallen van details van de situatie (hindernissen) tegen de achtergrondverlichting.

Als voorbeeld kan worden genomen een haas die in het donker in de lichtbundel van een auto komt. Het dier wordt verblind en drukt zich, of blijft in licht gevangen heen en weer rennen. Het durft een tijdlang de 'muur' van duisternis buiten de verlichting niet te nemen, tot het na een of meer keren even stilhouden bij de grens van de lichtbundel de sprong in het ongewisse durft te wagen. Dit gedrag betekent in het wegverkeer overigens een risico niet alleen voor het dier maar ook voor de automobilist die ervan kan schrikken en niet adequaat reageert.

Verblindings in de vorm van het wegvallen van details van de situatie (hindernissen) tegen een sterkere achtergrondverlichting betekent een risico van doodvliegen tegen verlichte ruiten, door schijnwerpers verlichte zendmasten e.d. Er bestaat vooral in de Amerikaanse literatuur een overvloed aan gedocumenteerde publicaties over doodvliegen van vogels tegen (tuidraden van) zendmasten, schoorstenen, affakkelinstallaties, ramen van hoge gebouwen e.d. Die aanvaringen kosten in de VS jaarlijks vier tot vijf miljoen vogels het leven. Het aantal aanvaringen is bij hoge, verlichte en getuide masten etc. en verlichte ramen van hoge gebouwen groter dan bij lage, onverlichte en ongetuide constructies en bij onverlichte ramen van hoge gebouwen. Met een zekere regelmaat wordt overigens ook melding gemaakt van slachtoffers onder vleermuizen⁴¹. De primaire oorzaak kan bij vogels echter bij de hierna te bespreken verstoring van het magnetisch oriëntatievermogen liggen.

Het schijnt dat de lichten daarbij niet zozeer de vogels aantrekken (ten gevolge van fixatie) en vervolgens verblinden, als wel dat de verlichting de vogels vasthoudt als ze passeren. Slecht zicht speelt bij het geheel ook op zich een rol, er is een significante clustering van aanvaringen bij nieuwe maan en tijdens het eerste kwartier⁴². Verder dragen de windrichting en -kracht (sterke tegenwind bij de trek) en de passage van koufronten bij aan de aantallen slachtoffers⁴³.

Het 's nachts zich dood vliegen van trekvogels tegen verlichte ramen van vooral hoge gebouwen in steden is een vergelijkbaar verhaal. Het zich doodvliegen van trekvogels

⁴¹ Ganier (1962), Avery & Clement (1972), Crawford & Baker (1981)

⁴² Telfer *et al.* (1987), Verheijen (1980, 1981a, 1981b)

⁴³ o.a. Crawford (1981)

tegen vuurtorens is door de inmiddels getroffen maatregelen historie, maar schijnwerpers vormen nog altijd een vergelijkbaar probleem.

8.3.3 Terugblik

De kennis over verblinding is zeer omvangrijk, vooral wat verminderd zicht door (achtergrond)verlichting betreft, maar nogal anekdotisch. Hoe het werkt is al lang en goed bekend.

Het belang van informatieve misleiding van vogels door licht en verlichting lijkt duidelijk groot. Verblinding kan voor lokale populaties van bedreigde vogelsoorten een aanzienlijk risico betekenen, en in geconcentreerde trekbanen van vogels onder bepaalde omstandigheden veel slachtoffers eisen.

Verblinding kan plaatselijk, vooral in de nabijheid van kleine geïsoleerde moeras- en waterbiotopen, een bedreiging betekenen voor lokale (deel)populaties van ongewervelde dieren (insecten, wantsen e.d.) die als imago dan wel geslachtsrijp organisme beschikken over vliegvermogen. Het gaat niet alleen om potentiële sterfte van individuen, maar vooral om bedreiging van de voortplanting.

9 Ontregeling verre oriëntatie

9.1 Vooraf

Verre oriëntatie betreft hier de magnetische oriëntatie van trekvogels en andere dieren. Bij ontregeling hiervan gaat het dus om desynchronisatie, de pendant van desynchronisatie in de dimensie ruimte. Ontregeling van de verre oriëntatie als gevolg van verstoring van het magnetische oriëntatievermogen is pas vrij recent in beeld gekomen.

9.2 De mens

Verstoring van het magnetisch oriëntatievermogen is bij de mens niet bekend. Dit vermogen is (hoogst waarschijnlijk) bij de mens afwezig.

9.3 Dieren

9.3.1 Overzicht

• Betrokken diergroepen

* Vogels:	- invloed aangetoond (trekvogels: nachttrek in voor- en najaar).
* Amfibieën:	- aangetoond bij salamanders; waarschijnlijk ook bij padden; niet uitgesloten bij kikkers (paartrek, land- en najaarstrek).
* Reptielen:	- waarschijnlijk (in elk geval bij zeeschildpadden).
* Vissen, insecten:	- onbekend, niet uitgesloten.
* Zoogdieren:	- onbekend, onwaarschijnlijk.

• Effecten

* Algemeen:	- uitval oriëntatievermogen.
* Doorwerking:	- desoriëntatie = desynchronisatie (niet op de juiste plek aankomen) - disfunctioneel gedrag, stress, energieverlies, aantasting conditie; - migratie: bedreiging van het met succes volbrengen van de tocht naar het overwinteringsgebied of -biotoop en retour naar het overzomeringsgebied of -biotoop. - voortplanting: risico van mislukking (niet vinden potentiële partners, niet bereiken voortplantingsbiotoop, mislukken van de landgang van larven na hun metamorfose). - predatie: verhoogd risico als gevolg van aantasting conditie, oponthoud. - mortaliteit: vogels - verhoogd risico van aanvliegen van obstakels (ramen, gebouwen, torens, tuikabels, ramen, e.d.).

- * Als geheel: - bedreiging overlevingskansen individuen (vogels, amfibieën; reptielen?) en populaties, vooral kleinere populaties in kleine/geïsoleerde seizoensbiotopen (i.h.b. amfibieën).

- **Betrokken verlichtingsparameters**

- * Illuminantie en luminantie: - het onderscheid tussen die betekenis van beide is niet erg duidelijk; het gaat in de praktijk primair om de opgeroepen air glow, dus de secundaire illuminantie (→ desoriëntatie), en vervolgens om de illuminantie en de luminantie (→ adaptatieproblemen, verblinding → doodvliegen).
- * Lichtspectrum: - werkzame golflengten in bereik geeloranje – rood.
- * Drempelwaarden: - geen kwantitatieve gegevens; op grond van de lichtgevoeligheid van de ogen van het dier (vogels, padden) en van de risicoversterkende omstandigheden mogelijk (zeer) lage drempelwaarde (\leq tot \ll 0,1 lux).

Complicatie: aantrekkende, dan wel afstotende werking van verlichting.

9.3.2 Toelichting

Vogeltrek

Hoe vogels zich tijdens de trek oriënteren, is een complexe aangelegenheid en nog altijd niet precies opgehelderd. Vogels beschikken in elk geval over verschillende oriëntatiemiddelen: het aardmagnetische kompas, het sterrenkompas, het zonnekompas en het zonsondergangkompas. Uit experimenten waarbij vogels twee oriëntatiemiddelen worden aangeboden die met elkaar in strijd zijn, blijkt dat in het bijzonder bij 's nachts trekkende vogels de magnetische oriëntatie dominant is. Het is nog onbekend hoe de andere drie zich tot elkaar verhouden. Het lijkt erop dat de oriëntatie van vogels niet star is, dat de vogel naar gelang de situatie de beste methode 'kiest', al dan niet in combinatie met een of meer andere methoden⁴⁴.

's Nachts kan uiteraard alleen gebruik gemaakt worden van het aardmagnetische kompas en het sterrenkompas. Het sterrenkompas heeft praktische beperkingen omdat het afhankelijk is van het weer (de bewolking) en de cyclus van de maan (volle maan versus nieuwe maan). Het is ongeschikt aan het aardmagnetische kompas. Het magnetische kompas gebruikt twee aspecten van het aardmagnetische veld, d.w.z. de combinatie van de sterkte daarvan en de hoek daarvan t.o.v. het aardoppervlak. De vogels oriënteren zich dus met een inclinatiekompas. Daarmee kunnen ze niet alleen de richting bepalen, maar ook de plek waar ze zijn, als beschikken ze over een kompas en een GPS. Het blijkt dat dit kompas door de golflengte van licht verstoord kan worden. Nadat al eerder was gebleken dat rood licht de magnetische oriëntatie van trekvogels verstoort, toonde Australisch onderzoek aan dat zangvogels zich onder monochromatisch blauw en groen licht goed kunnen oriënteren maar bij monochromatisch geel en rood licht gedesoriën-

⁴⁴ Wiltschko *et al.* (1993, 1995)

teerd raken. Ergens tussen groen (565 nm) en geel (590 nm) bevindt zich kennelijk een scherp omslagpunt waarop de vogels hun magnetische oriëntatievermogen verliezen. Er wordt aangenomen dat de opname van een foton als energetische initiator voor het magnetisch coördinatievermogen fungeert⁴⁵.

Het verschijnsel lijkt zich vooral voor te doen bij schijnwerperverlichting van zendmasten, hoge (kantoren)flats, torens e.d. Die verlichting veroorzaakt in het bijzonder bij laaghangende bewolking en/of nevelig weer boven dergelijke situaties een min of meer oranje koepel van verstrooid licht, de zogenaamde air glow. 's Nachts trekkende vogels verliezen dan hun oriëntatievermogen op het aardmagnetische veld. Bovendien verliezen ze bij een intensieve air glow het zicht op de sterrenhemel, als gevolg van het overstemmen van het sterrenlicht door die air glow, en het brede overzicht over het landschap omdat zij onder een relatief laag wolkendek vliegen en omdat dat ruimere landschap relatief donker blijft.

Daarbij komt dat als ze het verlichte gebied passeren, het toegenomen zicht het sterkste houvast kan gaan vormen die de vogels voor hun navigatie hebben, met als gevolg dat ze ertoe neigen om in de verlichte ruimte te blijven. Het schijnt dat de lichten niet zozeer de vogels aantrekken, als wel dat de verlichting de vogels min of meer vasthoudt als ze passeren. De kans daarop is groter als ze de lichtkoepel ten gevolge van tegenwind en/of de omvang van het schijnsel trager passeren.

Fatale aanvaringen gebeuren als ze dan gedesoriënteerd in het lichtschijnsel gaan rondvliegen en min of meer verblind (d.w.z. onvoldoende geadapteerd) tegen obstakels zoals het bouwwerk, verlichte ramen etc. aanvliegen. Slecht zicht speelt bij het geheel ook op zich een rol, er is een significante clustering van aanvaringen bij nieuwe maan en tijdens het eerste kwartier⁴⁶. Verder dragen de windrichting en -kracht (sterke tegenwind bij de trek) en de passage van koufronten bij aan de aantallen slachtoffers: er is sprake van relatief veel slachtoffers bij sterke tegenwind bij de trek en bij de passage van koufronten⁴⁷.

Minder verregaand is dat het verschijnsel kan leiden tot een 'fall-out', een massaal neerstrijken van kennelijk door desoriëntatie vermoeide trekvogels. Dit is uit het verleden bekend bij het gebruik van ceilometers met ononderbroken geel licht op vliegvelden en luchtmachtbases. Dat er rond blijven vliegen en neerstrijken roept ernstige risico's op voor het vliegverkeer. Zulk massaal neerstrijken doet zich ook voor op 's nachts verlichte olieboorplatforms in zee, waar affakkelininstallaties dan voor de vogels een extra mortaliteitsrisico opleveren.

Inmiddels blijkt uit de praktijk dat het aantal aanvaringen fors kan worden beperkt door verlichting met zwaailicht⁴⁸, stroboscopisch (flikkerend) licht⁴⁹ of knipperend licht (zelfs rood⁵⁰).

⁴⁵ Wiltschko *et al.* (1993, 1995) Schulten & Ritz (2000)

⁴⁶ Telfer *et al.* (1987), Verheijen (1980, 1981a, 1981b).

⁴⁷ o.a. Crawford (1981), McCarthy (1999)

⁴⁸ Maehr *et al.* (1983),

⁴⁹ Broderick (1995), Taylor (1981)

⁵⁰ Taylor (1981)

Amfibieëntrek

Een vergelijkbaar mechanisme, althans een vergelijkbaar effect is ook aangetoond bij amfibieën, in het bijzonder salamanders. Deze dieren blijken zich in het water, in een magnetisch veld met de sterkte van het aardmagnetisch veld, zowel bij daglicht als bij blauw licht normaal op de oever te oriënteren. Zij oriënteren zich daarentegen in eenzelfde magnetisch veld bij geel tot rood licht dwars op de richting naar de oever. Bij geel tot rood licht in de omgeving raken hierdoor het aan land gaan bij de overgang van het larvale stadium naar de jongvolwassen levensfase en de overwinteringstrek ontregeld. Het ligt voor de hand om te verwachten dat dit evenzeer geldt voor de paaitrek naar het water toe. In zgn. homing-experimenten, waarbij dieren worden verplaatst en wordt bekeken of en zo ja hoe ze naar hun oorspronkelijke plek terugkeren, blijken salamanders zich willekeurig ten opzichte van de magnetische kompasrichting te verspreiden⁵¹.

9.3.3 Terugblik

De beschikbare kennis is goed gedocumenteerd, betreft soortengroepen en soorten van nationaal en internationale betekenis en is voor de praktijk relevant aanzienlijk. Het onderwerp geniet reeds aanzienlijke belangstelling vanuit het onderzoek vooral in Noord-Amerika, waar het verschijnsel zich relatief sterk voordoet.

⁵¹ Philips & Boland (1994)

10 Naar preventie en mitigatie

10.1 Vooraf

De eerste stap op weg naar preventie en mitigatie is het identificeren van wat de kans op het optreden van effecten bepaalt. Dat gebeurt hierna. In essentie draait dat om enerzijds de aard, intensiteit en duur en plaats van de verlichting en anderzijds om de kans op blootstelling, die gerelateerd is aan de omgeving en de leefwijze van mens en dier.

Als tweede stap wordt aangegeven bij welke effecten welke preventieve en mitigerende maatregelen passen. Dit wordt vertaald naar algemene regels en een procedurele aanpak. Als derde stap wordt aangegeven welke typen van situaties aangemerkt mogen worden als relatief risicovol en dus prioritair ten aanzien van preventieve en mitigerende maatregelen

10.2 Kans op effecten bij de mens

10.2.1 Kans op verstoring van bioritmen

De kans op het optreden van verstoring van bioritmen is groter naarmate:

- het licht meer kortgolfige straling (blauw tot UV) bevat;
- de lichtintensiteit sterker is;
- de verlichting grootschaliger is,
- de verlichting langduriger is en de blootstelling een groter deel van de nacht beslaat en over een langere periode voortduurt;
- de mogelijkheden om het licht buiten te sluiten (afschermen, blinderen) en de effectiviteit daarvan beperkter zijn, dan wel de behoefte of noodzaak om een bepaalde activiteit te verrichten binnen een verlichte ruimte sterker is.

De kans is verder mede afhankelijk van individuele verschillen in gevoeligheid en in leefwijze/ dagindeling (vgl. 'ochtendmens' versus 'avondmens')⁵².

10.2.2 Kans op directe reacties op verlichting

Wat directe reacties betreft (hinder, afstoting, aantrekking, verblinding), neemt de kans op het optreden daarvan eveneens toe volgens de vijf hiervoor genoemde punten. Verder is die kans groter naarmate:

- de sterkte van de lichtbron (d.w.z. de oppervlaktehelderheid) groter is.
- de lichtbron hoger geplaatst is en meer alzijdig uitstraalt (m.b.t. zichtbaarheid, kans op optreden van air glow);

⁵² Brainard et al. (1988), Verkasalo et al. (2000)

- het landschap opener (c.q. transparanter/'lichtdoorlatender) is;
- de nachten donkerder zijn (bewolkte hemel; nieuwe maan), de achtergrondverlichting relatief zwak of afwezig is (sterker contrast tussen het verlicht gebied en de omgeving daarbuiten) en de begrenzing van de verlichte ruimte door de aard van de lichtbron en/of de aanwezigheid van lichtonderbrekende obstakels scherper is.

De kans wat het individu en zijn omgeving betreft groter naarmate:

- de behoefte om een bepaalde activiteit te verrichten binnen een gebied waar de licht-bron zichtbaar is, vanwege de eigen kwaliteiten van dat gebied groter is (bijv. ontspannen);
- de mogelijkheden om zich binnenshuis te onttrekken, om wat voor reden dan ook, beperkter zijn;
- bij het individu meer sprake is van het type 'ochtendmens' (versus 'avondmens');
- de verlichting minder 'contextueel' is, d.w.z. minder bij de omgeving 'past' of wordt verwacht (verlichting in natuurgebied > verlichting in de stad);
- in de individuele belevingswereld, op grond van kennis, ervaring en beoordeling van doel, nut en noodzaak van verlichting, etc., meer sprake is van associatie met minder gewenste zaken.

10.3 Kans op effecten bij dieren

10.3.1 Kans op verstoring van bioritmen

Voor dieren geldt net als voor de mens dat de kans op het optreden van verstoring van bioritmen groter is naarmate de lichtintensiteit sterker is, het licht meer kortgolelige straling (blauw tot UV) bevat, de verlichting grootschaliger is en de blootstelling een groter deel van de nacht beslaat en over een langere periode voortduurt.

Maar in de eerste plaats gaat het om de kans op blootstelling. Die neemt toe naarmate het dier:

- t.o.v. de verlichte ruimte een relatief kleiner leefgebied heeft;
- een groter deel van het jaar ter plekke aanwezig en actief is; dieren die in de tijd met de meeste verlichting (winter) afwezig zijn (wegtrekkers) of voor verlichting onbereikbaar zijn (winterslapers) lopen gering tot nauwelijks risico.
- voorkomt in een landschap dat opener c.q. transparanter is en een minder verborgen leefwijze vertoont.
- meer door verlichting wordt aangetrokken; het loopt dan overigens eerder andere risico's (zie § 6.3).

10.3.2 Kans op directe reacties op verlichting

De kans op effecten voor dieren (hinder, afstoting, aantrekking, verblinding), stemt in verregaande mate overeen met die voor de mens (§ 10.1.2), afgezien van waar het bewustzijn van de mens in het geding is. De kans is groter naarmate:

- de sterkte van de lichtbron groter is;

- het licht blauwiger/violetter is;
- de sterkte van de lichtbron (d.w.z. de oppervlaktehelderheid) groter is;
- de lichtbron hoger geplaatst is en meer alzijdig uitstraalt;
- het contrast tussen die sterkte en de omgeving buiten het door de lichtbron verlichte gedeelte (de achtergrondverlichting) groter is;
- het landschap lichtdoorlatender (opener, transparanter) is;
- de behoefte of druk om een bepaalde activiteit te verrichten binnen een gebied waar de lichtbron zichtbaar is vanwege de eigen kwaliteiten van dat gebied groter is (idem; bijv. beschikbaarheid van voedsel);
- de mogelijkheden om zich te onttrekken door uit te wijken naar geschikte, niet of onvolledig bezette biotopen elders beperkter zijn;
- het dier mobieler is (groter leefgebied / actieradius) en/of periodiek meer trekt of zwerft (tref- of confrontatiekans groter).
- de nachten donkerder zijn (bewolkte hemel; nieuwe maan) en achtergrondverlichting afwezig is of relatief zwak is.

10.3.3 Kans op optreden van ontregeling van de oriëntatie

De kans op optreden van dit specifieke effect is in de praktijk reëel en afhankelijk van de omstandigheden min of meer incidenteel aanzienlijk. De kans is het grootst bij:

- algemeen: bewolkte hemel, nevelig weer (door lichtvertrooiing ontstaan van koepel van ± oranje lichtweerschijn); nieuwe maan, eerste kwartier (duistere nacht);
- m.b.t. vogels:
 - grootschaliger verlichting (glastuinbouwconcentraties, grote industrieterreinen, steden),
 - hogere lichtintensiteit en langduriger verlichting;
 - ook laaghangende bewolking, sterke tegenwind;
 - m.b.t. amfibieën: ook kleinschalige, lokale verlichting en lagere lichtintensiteit.

10.4 Effecten en tegenmaatregelen

Op grond van de beschikbare informatie geeft de volgende tabel een overzicht van de effecten en preventieve en mitigerende maatregelen om die voorkomen of te beperken⁵³.

⁵³ Bij de de regels voor preventie en mitigatie speelt ook energiebesparing een rol. Niet verlichten kost helemaal geen energie; bij alternatieven loopt de besparing uiteen. Niet verlichten als het niet nodig is, en niet meer licht gebruiken dan nodig is, bespaart uiteraard eveneens energie. Verlichting van meer dan waar dat nodig is, is puur energieverspilling. Volgens de New England Light Pollution Advisory Group en de Sky Publishing Corporation gaat in de VS jaarlijks een miljard dollar verloren door nodeloze verlichting van de nachtelijke hemel.

Maatregelen \ Effecten	Beperking verlichtingsduur	Beperking verlichtingsintensiteit	Beperking lichtuitstraling naar boven en naar opzij	Beperking lichtuitstraling naar beneden	Beperking zichtbaarheid van de lichtbron	Beperking aandeel korte golflengten in het licht	Vermijding ononderbroken langgolvig licht	Vermijding scherp contrast licht – donker	Beperking oppervlaktehelderheid lichtbron	Beperking immissie (afschermen, blinderen)
Verstoring dagnachtritme	x	x	x	x		x				x
Verstoring seizoensritme	x	x	x	x		x				x
Hinder, afstoting	x	x	x	x	x	x			x	x
Aantrekking	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Misleiding	x	x	x	x	x				x	x
Verblindings	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Ontregeling oriëntatie	x	x	x	x	x		x			x

In algemenere zin zijn de regels voor preventie en mitigatie dus:

<p>Verlicht alleen als er geen alternatieven zijn</p> <p>Verlicht alleen waar het echt nodig is, wat nodig is. Mijd risicogebieden</p> <p>Verlicht alleen wanneer en zolang het echt nodig is.</p> <p>Verlicht alleen zoveel als echt nodig is.</p> <p>Verlicht alleen zo dat de lichtbron niet direct zichtbaar is. Scherm dus af.</p> <p>Verlicht alleen met geringe oppervlaktehelderheid van de lichtbron.</p> <p>Verlicht alleen met betrekkelijk langgolvig licht.</p>
--

Naar de praktijk kunnen deze regels worden vertaald in de volgende stappen:

Stappen	Vragen	Oplossingen
Keuze voor verlichting	➔ Is het echt noodzakelijk?	➔ Laat na of zoek alternatieven
Keuze van de plaatsing	➔ Waar moet het komen?	➔ Mijd relatief risicovolle gebieden
	➔ Hoe hoog moet de lamp?	➔ Plaats zo laag mogelijk
Keuze van de armatuur	➔ Mag uitstraling omhoog?	➔ Scherm uitstraling naar boven volledig af
	➔ Mag uitstraling opzij?	➔ Scherm uitstraling $\geq 45^\circ$ t.o.v. horizontaal af
Keuze van de lamp	➔ Welke lichtsterkte?	➔ Stem af op behoefte
	➔ Samenstelling lightspectrum?	➔ Elimineer ultraviolet en blauw
Gebruik van de verlichting	➔ Wat is de werkelijke behoefte?	➔ Stem af op behoefte: beperk brandtijd, gebruik automatisch en/of flexibel schakelregime, gebruik dimbare verlichting

10.5 Relatief risicovolle lokaties

Wat de mens betreft zijn specifiek relatief risicovolle lokaties, zowel voor verstoring van bioritmen door verlichting als voor directe reacties op verlichting (hinder, afstoting, aantrekking, verblindings):

- recreatiegebieden, stiltegebieden, rustgebieden;
- waardevolle cultuurlandschappen; Nationale Parken;
- open gebieden; gevarieerde, kleinschalige landschappen;
- het landelijke gebied i.h.a.;
- specifieke woonwijken.

Relatief risicovolle lokaties zijn wat dieren betreft niet veel anders.

- Juridisch en inhoudelijk:
 - Habitat- en Vogelrichtlijngebieden;
 - de Ecologische Hoofdstructuur (kernegebieden, ontwikkelingsgebieden en verbindingszones)
 - natuureservaten en Nationale Parken;
 - gebieden met Rode-Lijstsoorten;
 - gebieden met planologisch erkende natuurwaarden.
- Inhoudelijk, in aanvulling, zowel voor verstoring van bioritmen door verlichting als voor directe reacties op verlichting (hinder, afstoting, aantrekking, verblinding):
 - open gebieden;
 - gevarieerde, kleinschalige landschappen,
 - i.h.b. die met lokale vochtige biotopen, en
 - die met structuren (heggen, houtwallen, sloten e.d.) welke als verplaatsingsroutes voor de fauna fungeren;
 - het landelijke gebied i.h.a.
- Wat ontregeling van de oriëntatie aangaat, komt hier nog specifiek bij:
 - migratiebanen van vogels;
 - seizoensmigratie (stuwing langs de kust, maar ook in het binnenland langs grootschalige landschappelijk-geomorfologische structuren)
 - dagelijkse pendelbewegingen (aan de kust en in het binnenland, tussen foerageergebieden en broed-, slaap- en overtijingsplaatsen);
 - trekroutes van salamanders en padden.

10.6 Besluit: effectafstanden

In het voorgaande ontbreekt een voor de praktijk essentieel gegeven. Dat is de schaal waarop effecten zich kunnen manifesteren: de effectafstand dus. Hierover is weinig bekend. Dat is ook niet verbazend. Het zal duidelijk zijn dat die afstand afhankelijk is van een complex van variabelen: de kenmerken van de verlichting (zoals verlichtingsintensiteit, spectrale samenstelling, vorm van de armatuur, etc.) en van de situatie (de transparantie van het landschap), zoals dat hiervoor al herhaald naar voren is gekomen en last but not least: het dier.

In de onderzoekliteratuur worden effectafstanden van honderden meters gemeld. Voor bijvoorbeeld de afstotende werking van moderne, UV- en blauwarme wegverlichting op broedende grutto's omstreeks 300 meter (op langere termijn vermoedelijk [veel] meer), op amfibieën tot enkele 100-en meters, en op insecten 100-en meters tot meer dan een kilometer; voor de aantrekkende werking op terrestrische zoogdieren (bunzing, hermelijn, vos) in elk geval meer dan 100 meter. De hinder van de oppervlaktehelderheid van sterke lichten (inkijk) kan vele kilometers ver rijken, de zichtbaarheid en effecten van air glow (boven bijv. kassen) minstens zo ver.

Literatuur

Alerstam, T., G.A. Gudmundsson, M. Green & A. Hedenström, 2001. Migration along orthodromic sun compass routes by arctic birds. *Science* 12 jan. 2001, vol. 291: 300-303.

Avery, M. & T. Clement, 1972. Bird mortality at four towers in eastern North Dakota: Fall 1972. *Prairie Naturalist* 4(3/4): 87-95.

Avery, M.L., P.F. Springer & N.S. Dailey, 1980. Avian mortality at man-made structures: an annotated bibliography. (revised). U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-80/54. 152 p.

Baker, J., 1990. Toad aggregations under streetlamps. *British Herpetological Soc. Bull.* 31: 26-27.

Batt, S., 2000. What does light through yonder window wreaks – circadian rhythms and breast cancer. *Breast Cancer Action Newsletter* 61 (sept./oct. 2000).

Berson, D.M., F.A. Dunn & M. Takao, 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* Feb. 8 2002, Vol. 295: 1070-1073.

Blask, D.E., 2001. Summary of IDA Panel on the Physiological & Pathological Effects of Exposure to Light at Night on Humans. IDA Annual Meeting, March 9-10, 2001.

Blask, D.E., L.A. Sauer, R.T. Dauchy, E.W. Holowachuk & M.S. Ruhoff, 1999a. New actions of melatonin on tumor metabolism and growth. *Biol. Signals Recept* 8: 49-55.

Blask, D.E., L.A. Sauer, R.T. Dauchy, E.W. Holowachuk, M.S. Ruhoff & H.S. Kopff, 1999b. Melatonin inhibition of cancer growth in vivo involves suppression of tumor fatty acid metabolism via melatonin-receptor-mediated signal transduction events. *Cancer Research* 59: 4693-4701.

Both, C., 2002. Nemen Bonte Vliegenvangers *Ficedula hypoleuca* af door klimaatsverandering? *Limosa* 75(2): 73-77.

Brainard, G.C., 2000. Light effects on melatonin. *Proceedings Int. Symp. on Low Frequency EMF, Visible light, Melatonin and Cancer*, May 4-5, 2000, University of Clogne, Germany.

Brainard, G.C., 2001. Summary of IDA Panel on the Physiological & Pathological Effects of Exposure to Light at Night on Humans. IDA Annual Meeting, March 9-10, 2001.

- Brainard, G.C. et al., 1998. Dose-response relationship between light irradiance and the suppression of plasma melatonin in human volunteers. *Brain Research* 454: 212-218.
- Broderick, B., 1995. [Why be concerned about light pollution?] RASC [Royal Astronomical Society of Canada] Bulletin
<<http://www.rasc.ca/rasc/light/concern.htm>>. 3 juni 1998.
- Crawford, R.L., 1981. Weather, migration and autumn bird kills at a north Florida TV tower. *Wilson Bull.* 93: 189-195.
- Crawford, R.L. & W.W. Baker, 1981. Bats killed at a north Florida television tower: a 25-year record. *J.Mammal.* 62: 651-652
- Dauchy, R.T., L.A. Sauer, D.E. Blask & G.M. Vaughan, 1997. Light contamination during the dark phase in 'photoperiodically controlled' animal rooms: Effects on tumor growth and metabolism in rats. *Laboratory Animal Science* 47 (5): 511-518.
- Dauchy, R.T., D.E. Blask, L.A. Sauer, G.C. Brainard & J.A. Krause, 1999. Dim light during darkness stimulates tumor progression by enhancing tumor fatty acid uptake and metabolism. *Cancer Letters* 144: 131-136.
- Feychting, M., 2000. Reduced cancer incidence among the blind in Sweden. *Proceedings Int. Symp. on Low Frequency EMF, Visible light, Melatonin and Cancer*, May 4-5, 2000, University of Cologne, Germany.
- Feychting, M., B. Österlund & A. Ahlbom, 1998. Reduced cancer incidence among the blind. *Epidemiology* 9(5): 490-494.
- Ganier, A.F., 1962. Bird casualties at a Nashville TV tower. *Migrant* 33(4): 58-60.
- Gezondheidsraad, 2000. Hinder van nachtelijk kunst-licht voor mens en natuur. *Gezondheidsraad publ.nr. 2000/25*, Den Haag. 49 p.
- Hahn, R.A., 1998. Does blindness protect against cancer? *Epidemiology* 9 (5):481-483.
- Hansen, J., 2001. Increased breast cancer risk among women who work predominantly at night. *Epidemiology* 12: 74-77.
- Havlin, J., 1964. Zur Lösung der Amselfrage. *Angewandte Ornithologie* 2(1): 9-14.
- Hebert, E. & E. Reese. 1995. Avian collision and electrocution: an annotated bibliography. California Energy Commission, publ.nr. P700-95-001.
- Kliukiene, J., T. Tynes & A. Andersen, 2001. Risk of breast cancer among Norwegian women with visual impairment. *Br. Jn Cancer* 84: 397-399.

Koller, M., M. Haerma, J.T. Laininen & M. Kundi, 1994. Different patterns of light exposure in relation to melatonin and cortisol rhythms and sleep of night workers. *Journal of Pineal Research* 16: 127.

Koolstra, B.J.H, B. Verboom & J. Dirksen, 2001. Ecologische effecten bestemmingsplan Birkhoven-Noord. Beschrijving van de ecologische gevolgen voor vleermuizen en een toets van deze effecten aan de EU-Habitatrichtlijn en Natuurbeschermingswet. Alterra-rapport 339, Wageningen.

Lewy, A.J. et al., 1980. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210 (Dec. 12): 1267-1269.

Maehr, D.S., A.G. Spratt & D.K. Voigts, 1983. Bird casualties at a central Florida power plant. *Florida Field Naturalist* 11: 45-68.

McCarthy, E., 1999. [Songbirds and telecommunication towers. OLR research report]. <<http://www.cga.state.ct.us/olr/extra/birdsdie1245.htm>>.

Molenaar, J.G. de, D.A. Jonkers & R.J.H.G. Henkens, 1997. Wegverlichting en natuur. I. Een literatuurstudie naar de werking en effecten van licht en verlichting op de natuur. IBN-rapport 287. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen / DWW-rapport W-DWW-97-057, DWW-Versnipperingsreeks Deel 34, Delft. 292 p.

Molenaar, J.G. de & R.J.H.G. Henkens, 1998. Effectiviteit van wildspiegels; een literatuurevaluatie. IBN-rapport 362. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen. 100 p.

Molenaar, J.G. de, 1999. Lichthinder. Wegverlichting en fauna, een quick scan van het proefproject 'Alternatieve verlichting'. Deel 3.C Lichthinder, in Witteveen+Bos & Provincie Noord-Holland: 'n Nieuwe richting voor wegverlichting. 12 p.

Molenaar, J.G. de & D.A. Jonkers, 2000. Verlichting Rijkswegen Utrechtse Heuvelrug. Alterra-rapport 110, Wageningen. 69 p.

Molenaar, J.G. de, D.A. Jonkers & M.E. Sanders, 2000. Wegverlichting en Natuur. III. Lokale invloed van wegverlichting op een gruttopopulatie. DWW-rapport P-DWW-2000-024, Delft / Alterra-rapport 064, Wageningen. 96 p. (Also in English: Road illumination and nature III. Local influence of road lights on a black-tailed godwit (*Limosa l. limosa*) population. DWW Ontsnipperingsreeks deel 38A).

Molenaar, J.G. de, R.J.H.G. Henkens, C. ter Braak, C. van Duyne, G. Hoefsloot & D.A. Jonkers, 2003. Wegverlichting en natuur. IV. Effecten van wegverlichting op het ruimtelijk gedrag van zoogdieren. Alterra-rapport 648. Alterra, Wageningen / DWW-rapport DWW-2003-012, DWW-Versnipperingsreeks Deel 44, Delft. 72 p.

Reiter, R., 2001. Summary of IDA Panel on the Physiological & Pathological Effects of Exposure to Light at Night on Humans. IDA Annual Meeting, March 9-10, 2001.

Stevens, R.G., 2000. The Melatonin Hypothesis: Circadian Disruption and Breast Cancer. Proceedings Int. Symp. on Low Frequency EMF, Visible light, Melatonin and Cancer, May 4-5, 2000, University of Clogne, Germany.

Taylor, W.K., 1981. No longer a bird killer. Florida Naturalist 9:4-5, 10.

Telfer, T.C., J.L. Sincock, G.V. Byrd & J.R. Reed, 1987. Attraction of Hawaiian seabirds to lights: conservation efforts and effect of moon phase. Wildl.Soc.Bull. 15: 406-413.

Trapp, J.L., 1998. Bird kills at towers and other man-made structures: an annotated partial bibliography (1960-1998). U.S. Fish and Wildlife Service.

Verheijen, F.J., 1980. The moon: a neglected factor in studies on collisions of nocturnal migrant birds with tall lighted structures and with aircraft. Vogelwarte 30: 305-320.

Verheijen, F.J., 1981a. Bird kills at lighted man-made structures: not on nights close to a full moon. Am. Birds 35: 251-254.

Verheijen, F.J., 1981b. Bird kills at tall lighted structures in the USA in the period 1935-1973 and kills at a Dutch lighthouse in the period 1924-1928 show similar lunar periodicity. Ardea 69: 199-203.

Verkasalo, P.K., E. Pukkala, R.G. Stevens, M. Ojama & S.L. Rudanko, 2000. Visual Impairment and Cancer in Finland. Proceedings Int. Symp. on Low Frequency EMF, Visible light, Melatonin and Cancer, May 4-5, 2000, University of Clogne, Germany.

Weir, R.C., 1976. Annotated bibliography of bird kills at man-made structures: a review of the state of the art and solutions. Canadian Wildl. Service, Ontario Region, Ottawa. 85 p.

Wever, R., 1979. The circadian system of man: Results of experiments under temporal isolation. Springer Verlag, New York.

Whitmore, D., N.S. Foulkes & P. Sassone-Corsi, 2000. Light acts directly on organs and cells in culture to set the vertebrate circadian clock. Nature 404: 87-91.

Wiltschko, W., U. Munro, H. Ford & R. Wiltschko, 1993. Redlight disrupts magnetic orientation of migratory birds. Nature 364: 525-527.

Wiltschko, R. & W. Wiltschko, 1995. Magnetic Orientation in Animals. Springer Verlag, Berlin.