

**Artificiële nachtelijke buitenverlichting en verbanden  
met fysieke en mentale gezondheid.  
Rapport literatuurstudie.**



Annelies De Decker & Ira Wolters, Ilona Gabaret, Lynde De Prins, Elly Den Hond. 19 juni 2023.  
Provinciaal Instituut voor Hygiëne, Antwerpen.



Provincie  
Antwerpen

provincie  
Oost-Vlaanderen



VLAAMS-  
BRABANT

met de steun van  
west-vlaanderen  
de gedreven provincie



## Colofon

Titel: Artificiële nachtelijke buitenverlichting en verbanden met fysieke en mentale gezondheid.  
Rapport literatuurstudie.

Auteurs: Annelies De Decker & Ira Wolters, Ilona Gabaret, Lynde De Prins, Elly Den Hond.

Dit rapport is een realisatie van het Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH).

Deze literatuurstudie gebeurde in opdracht van de 5 Vlaamse Provincies (Provincie Limburg, Provincie Antwerpen, Provincie Oost-Vlaanderen, Provincie West-Vlaanderen, Provincie Brabant) en het Interprovinciaal Kenniscentrum (IPKC). Dit rapport geeft de bevindingen weer van de auteurs en niet die van de Vlaamse provincies. De Vlaamse provincies zijn niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de in dit rapport opgenomen gegevens.

De studie werd opgevolgd en nagelezen door een begeleidingsgroep bestaande uit een diverse groep experts en stakeholders, namelijk:

Huig Deneef en Joris Verhees - Provincie Limburg

Mieke Hoogewijs, Veerle Herssens en Dirk Vandenbussche - Departement Leefmilieu, Dienst Duurzaam Milieu en Natuurbeleid, Provincie Antwerpen.

Mark Alderweireldt - Provincie Oost-Vlaanderen

Wouter Vuylstek - Provincie West-Vlaanderen

Frederik Vanlerberghe - Dienst Leefmilieu, team Natuur, Provincie Vlaams-Brabant.

Vicky Desart en Ben Haeverans, Interprovinciaal Kenniscentrum.

Marleen Moelants - Afdeling Planning, Coördinatie en Ondersteuning, Agentschap Wegen en Verkeer.

René Meeuwis - Afdeling Beleid & Strategie, Agentschap Natuur en Bos.

Tanya Cerulus - Afdeling Beleidsontwikkeling en Juridische Ondersteuning, Departement Omgeving.

Jeroen De Landtsheer - Fluvius.

Robbert Schepers - Regionaal Landschap Schelde-Durme.

Bob Vandendriessche - Regionaal Landschap Houtland.

Stijn Vanderheiden en Friedel Pas - 'Leve(n)de Nacht vzw'.

Kris Broers - Natuurpunt Vleermuizenwerkgroep (gezamenlijke introductie).

Wij danken iedereen van harte voor hun bijdrage. In het bijzonder willen we Vicky Desart en Ben Haeverans bedanken, die zorgden voor de administratieve ondersteuning.

Bron figuur voorblad: NASA Earth Observatory.

# Inhoudstafel

Afkortingen .....	5
Samenvatting .....	6
1. Introductie .....	1
1.1    Waarom deze literatuurstudies? .....	1
1.2    België koploper op vlak van lichtvervuiling .....	1
1.3    Bronnen van lichtvervuiling en evolutie .....	3
1.4    Gehanteerde termen, definities, eenheden en afkortingen .....	4
1.4.1    Lichtkleur .....	4
1.4.2    Lichtintensiteit .....	7
1.4.3    Nachtelijke buitenverlichting en nachtelijk kunstlicht .....	9
2. Onderzoeksvraag .....	10
3. Methode .....	11
4. Resultaten en bespreking .....	15
4.1.    Relatie NBV met dag-nacht (circadiaans) ritme en slaap .....	15
4.1.1.    Resultaat literatuurstudie .....	16
4.1.2.    Bespreking .....	21
4.2.    Relatie NBV met het voorkomen van kanker .....	24
4.2.1.    Resultaat literatuurstudie borstkanker.....	24
4.2.2.    Resultaat literatuurstudie andere kankertypes .....	28
4.2.3.    Bespreking borstkanker en andere kankertypes .....	30
4.3.    Relatie NBV met overgewicht en obesitas.....	33
4.3.1.    Resultaat literatuurstudie .....	33
4.3.2.    Bespreking .....	36
4.4.    Relatie NBV met oogfunctie .....	37
4.4.1.    Resultaat literatuurstudie .....	37
4.4.2.    Bespreking .....	38
4.5.    Relatie NBV met mentale gezondheid.....	39
4.5.1.    Resultaat literatuurstudie .....	40
4.5.2.    Bespreking .....	43
5. Algemene bespreking .....	45
6. Sterktes en beperkingen van deze literatuurstudie .....	50
7. Richtingen voor toekomstig onderzoek.....	51
8. Aanbevelingen .....	52
Referenties.....	54
Lijst met figuren .....	65
Lijst met tabellen .....	66



## Afkortingen

BI	Betrouwbaarheidsinterval
DMSP	United States Defense Meteorological Satellite Program
IARC	International Agency for Research on Cancer
INBO	Instituut voor Natuur en Bos Onderzoek
IPKC	Interprovinciaal Kenniscentrum
led	Light-Emitting Diode
NBV	Nachtelijke buitenverlichting
OR	odds ratio
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

# Samenvatting

## Inleiding

Zowel in steden als op het platteland is er massaal artificiële nachtelijke buitenverlichting (NBV) geplaatst. NBV wordt geplaatst om de zichtbaarheid voor mensen in het donker te verhogen. Zo wordt openbare verlichting, verlichting van industrie, KMO, sport-, parkeer- en privéterreinen geplaatst met de bedoeling om ongevallen bij nachtelijk werk of tijdens verplaatsingen te voorkomen. Daarnaast worden ook sociale redenen aangehaald voor het gebruik van nachtelijke verlichting, namelijk om (het gevoel van) veiligheid te verhogen m.b.t. criminaliteit of omwille van de sfeer. Verder wordt NBV o.a. ook gebruikt in de landbouw om de efficiëntie te verhogen (bv. serres,...) en in de horeca en handel sector ter ondersteuning van reclame.

De keerzijde van NBV is de verstorening van de natuurlijke duisternis. België is wereldwijd één van de koplopers op vlak van lichtvervuiling. Lichtvervuiling blijkt grote en onvermoede negatieve gevolgen te hebben voor de gezondheid van dieren en planten. Ook zijn er wetenschappelijke studies die een verband suggereren met tal van ziektes bij de mens. De recente en toekomstige omschakeling naar ledverlichting zou de negatieve gevolgen nog vergroten. Dit komt omdat ledverlichting meestal meer licht uit het blauwe spectrum bevatten, met kortere golflengtes, ook al is in principe elke lichtkleur mogelijk.

De wetenschappelijke literatuur over de effecten van NBV werd nog niet op een gestructureerde manier doorzocht en geïnterpreteerd. De vijf provincies en het interprovinciaal kenniscentrum (IPKC) ondersteunen daarom twee literatuurstudies: één naar effecten op biodiversiteit en één naar gezondheidseffecten bij de mens. Het doel is om uit de literatuurstudies wetenschappelijk onderbouwde adviezen te kunnen geven rond NBV en de omschakeling naar ledverlichting om de gezondheid van dier, plant en mens maximaal te beschermen.

De omschakeling naar ledverlichting brengt namelijk ook opportuniteiten met zich mee. Zo is er een momentum om kritisch te evalueren welke lichtpunten aangepast of verwijderd kunnen worden op basis van de huidige maatschappelijke noden en wetenschappelijke kennis over de negatieve gevolgen. Verder zijn er meer keuzes te maken wanneer er omgeschakeld wordt naar ledverlichting. Zo kan, bij gebruik van specifieke installatie en technieken, ledverlichting aangestuurd worden vanop afstand (bv. aan- en uitschakelen op basis van behoeften van gebruikers), is verandering van intensiteit zoals dimmen en versterken mogelijk en kunnen sommige ledlampen van kleur wijzigen. Ook is er de mogelijkheid van slimme verlichting, die enkel aanschiet wanneer iemand het nodig heeft.

## Onderzoeksvraag

In deze literatuurstudie wordt de **relatie tussen artificiële nachtelijke buitenverlichting (NBV) en de fysieke en mentale gezondheid van mensen** onderzocht. Daarbij omvat NBV de verlichting van alle lichtbronnen samen (openbare verlichting, sfeerverlichting, verlichting van industrie en KMO terreinen, landbouw, sportterreinen, horeca, handel, particulieren, ...). Daarnaast wordt er gekeken naar alle lichtkleuren.

## Methode

Voor de systematische doorzoeking van de wetenschappelijke literatuur werd een protocol volgens de 'Rapid Review' methode ontwikkeld en gevolgd. De wetenschappelijke databanken 'MEDLINE' en 'PubMed Central' werden doorzocht via de vrij toegankelijke interface PubMed® in april 2021. Er werd gebruik gemaakt van de zoektermen "(light OR lighting OR illumination) AND (night OR nighttime or dark OR nocturnal or glare) AND (outdoor OR pollution OR environmental or road)" met filters taal (Engels, Nederlands en Frans), geschikte artikeltypes (bv. geen niet-systematische reviews) en soort (mensen). De gevonden items werden geselecteerd op geschiktheid op basis van de titel, en daarna op basis van de samenvatting van de studie. Dan werd er geteld hoeveel items er geselecteerd waren per beschreven gezondheidseindpunt. In overleg met de begeleidingsgroep

werd gekozen om gezondheidsuitkomsten waarvoor te weinig informatie beschikbaar was, niet verder te onderzoeken binnen de huidige literatuurstudie. Daarna werd de volledige tekst van de geselecteerde artikels doorgenomen. Indien de studie toch niet bleek te beantwoorden aan de onderzoeksvraag, werd ze alsnog niet weerhouden.

Wanneer recente kwalitatieve systematische reviews inclusief meta-analyse beschikbaar waren voor een bepaalde gezondheidsuitkomst, dan werden die resultaten aanschouwd als meer robuuste bevindingen dan die uit individuele studies. De resultaten van het literatuuronderzoek werden uitgeschreven in een narratieve samenvatting, inclusief een bespreking van beperkingen en sterktes van de beschreven studies.

## Resultaten

De combinatie van zoektermen en filters leverde **3.245 items** op. Na de titel selectie bleven er nog 373 items over, met een verdere reductie tot 152 items na het lezen van de abstracts. Na het doornemen van de volledige tekst, bleken 40 items geschikt voor de onderzoeksvraag:

- 8 voor dag-nacht ritme (of circadiaans ritme) en slaap waarvan 1 systematische review;
- 17 voor borstkanker waarvan 2 systematische reviews;
- 5 voor andere kankers dan borstkanker;
- 6 voor overgewicht en obesitas waarvan 1 systematische review;
- 1 voor oogfunctie;
- 3 voor mentale gezondheid.

Omwille van de **omschakeling naar ledverlichting**, vatten we eerst de resultaten samen in verband met **licht** uit het **blauwe deel** van het visuele spectrum, met **kortere golflengtes** dan de andere lichtkleuren van het visuele spectrum.

- We vonden een systematische review van experimentele studies, die niet specifiek over buitenverlichting ging maar over licht in het algemeen. De experimenten tonen aan dat blauw licht **reeds bij een lagere lichtintensiteit een significante onderdrukking van het hormoon melatonine** kan uitlokken 's nachts **of een stijging van melatonine 's avonds kan uitstellen**. Volgens het normale **dag-nacht ritme** van melatonine, moet de hoeveelheid melatonine 's avonds net stijgen en zo zorgen dat we voelen dat het tijd is om te gaan slapen. De concentraties pieken normaal gezien tijdens de nacht, en dragen bij aan een goede nachtrust en aan heel wat herstelprocessen in het lichaam. De onderdrukking van melatonine zou dus al bij een lage lichtintensiteit aan blauw licht **negatieve gevolgen kunnen hebben op herstelprocessen in het lichaam en op de slaapduur en -kwaliteit**. Zelfs met gesloten ogen zou licht in de slaapomgeving het melatonine niveau onderdrukken en zorgen voor **meer ondiepe slaap**.

De hoeveelheid melatonine wordt aangestuurd door een soort interne klok in onze hersenen, die via het natuurlijke dag-nacht ritme van licht gesynchroniseerd wordt met de omgeving. Deze interne klok krijgt de signalen van licht en donker door via het ftopigment 'melanopsine' in het netvlies van het oog. Melanopsine is net gevoelig voor licht uit het blauwe deel van het spectrum, wat logisch is gezien het blauwe deel dominant is in daglicht.

- Verder vonden twee epidemiologische studies een **verhoogde waarschijnlijkheid van prostaatkanker, dikke darm kanker en borstkanker** bij wonen in gebieden met de hoogste categorie aan NBV in het blauwe spectrum (ten opzichte van de laagste categorie). Een verstoring van het dag-nacht ritme van melatonine zou ook voor dit verband de eerste stap zijn in het vermoedelijk onderliggend mechanisme, gelijkaardig als voor carcinogeniteit. De opzet van deze epidemiologische studies is echter niet geschikt om een oorzakelijk verband te bewijzen.

Voor **NBV in het algemeen**, zonder specificering van de lichtkleur, vonden we méér aanwijzingen rond het samengaan van NBV met allerlei gezondheidsaandoeningen.

- Bovenvermelde systematische review van experimentele studies, die niet specifiek over buitenverlichting ging maar over licht in het algemeen, bespreekt ook bevindingen rond licht

met langere golflengtes dan die van blauw licht. De experimenten tonen aan dat ook dit licht het **melatonine niveau** kan **onderdrukken of een stijging van melatonine 's avonds kan uitstellen**. Daar is wel een **hogere lichtintensiteit** voor nodig dan voor blauw licht.

- Kijken we enkel naar buitenverlichting, dan zien verschillende epidemiologische studies dat **meer NBV rond de woonplaats samengaat met parameters van slechtere slaap**, zoals:
  - meer voorschriften voor slaapmedicatie inclusief een hogere dagelijkse dosis;
  - een significante vermindering in zelf-gerapporteerde slaapduur;
  - een verlaat slaappatroon;
  - moeilijkheden om in te slapen, te blijven slapen of ongenoegen over slaapkwaliteit- of kwantiteit in het algemeen;
  - beperkingen overdag door slechte slaapkwaliteit 's nachts;
  - andere slaapverstoringen.

Deze slaapparameters werden telkens slechts in één of enkele studies bestudeerd, maar de veelheid aan verschillende gegevens suggereert dat NBV samengaat met een verstoord slaappatroon.

- Verder is er sterk bewijs vanuit een meta-analyse van 6 studies voor het samengaan van NBV in de omgeving van de woonplaats en een **hogere waarschijnlijkheid van borstkanker**. Het verband is het duidelijkste bij postmenopauzale vrouwen en bij oestrogeen receptor positieve borsttumoren. Voor prostaatkanker werden tegenstrijdige resultaten gevonden, terwijl er voor dikke darm kanker geen verband gevonden werd met NBV in het visuele spectrum.
- Ook is er bewijs voor het samengaan van wonen in gebieden met hogere NBV en een **hoger risico op overgewicht of obesitas** vanuit 3 epidemiologische studies.
- Voor oogfunctie vonden we slechts één artikel, waarin geen verband tussen NBV en bijziendheid van het oog gevonden werd.
- Op vlak van mentale gezondheid werd in 2 studies bewijs gevonden voor het samengaan van wonen in gebieden met hogere NBV en **hoger risico op depressieve symptomen**, en in 1 studie met **suïcidale gedragingen**. Een studie in kinderen vond een hoger voorkomen van **stress** bij wonen in gebieden met hogere NBV.

## Bespreking

We vinden aanwijzingen dat blootstelling aan licht 's avonds en 's nachts negatieve gevolgen kan hebben op slaap en melatonineniveau 's bij de mens. Voor deze effecten zijn mensen het gevoeligst aan licht uit het blauwe spectrum. Ook voor andere gezondheidseffecten zoals kanker, overgewicht en mentaal welbevinden zijn er aanwijzingen voor een hoger voorkomen bij meer NBV, al kan er niet met zekerheid gesteld worden dat NBV één van de oorzaken is. In de meeste van de besproken studies wordt NBV gemeten via satellietbeelden en berekend voor de omgeving rond de woonplaats. Op deze berekening zit een foutmarge. Verder is de hoeveelheid NBV rond de woonplaats niet noodzakelijk gelijk aan de werkelijke blootstelling van een persoon aan NBV, en aan artificiële verlichting in het algemeen. Zo kan een persoon zich ook afschermen van NBV via het gebruik van o.a. gordijnen en rolluiken, of blootgesteld worden aan binnenverlichting of verlichting van beeldschermen. De bevindingen van samenhang tussen NBV en gezondheidsuitkomsten zouden ook kunnen verklaard worden door een andere, niet onderzochte parameter. Dit kan het geval zijn voor een parameter die zowel meer voorkomt in gebieden met hoge NBV als in gebieden met hogere waarschijnlijkheid op die gezondheidsuitkomsten (bv. meer luchtvervuiling in gebieden met een hoge graad van NBV zoals in steden). Het International Agency for Research on Cancer (IARC) concludeerde wel dat er voldoende bewijskracht is voor het kankerverwekkend vermogen van verstoringen van het dag-nacht ritme door het werken in nachtploegen, met een verhoogd risico op prostaat-, borst- en dikke darm kanker. Verder besloten ze dat er voldoende bewijskracht is vanuit experimenteel onderzoek bij dieren dat veranderingen in het licht-donker schema carcinogeen zijn, d.w.z. kankerverwekkend. Daarbovenop is het vanuit experimentele studies bij mensen aangetoond dat licht een invloed heeft op het melatonine niveau en het slaappatroon. De auteurs van de epidemiologische studies suggereren daarom vaak dat het toch de blootstelling aan NBV is die de



oorzaak is van de gezondheidsuitkomsten. Het onderliggende mechanisme zou dan lopen via de gevolgen van de verstoring van het dag-nacht ritme van het lichaam door blootstelling aan licht 's avonds en 's nachts.

De **verbanden** van NBV met verstoring van de slaap in een studie bij 50- tot 71-jarigen en stress in een studie bij kinderen bleken **sterker bij een hogere armoedegrade**. **Toekomstig onderzoek** dient uit te zoeken hoe dit verklaard kan worden. Mogelijke hypothesen zijn het ontbreken van financiële middelen om verduisterende oplossingen te voorzien in de slaapkamer, een andere leefstijl, een ander werkritme of andere aspecten van dichtbevolkte stedelijke gebieden dan de NBV. Als de verklaring zou liggen in het ontbreken van verduisterende oplossingen, dan sterkt deze bevinding de hypothese dat NBV één van de oorzaken is van slaapverstoring en stress.

Omdat de verleiding wereldwijd nog in zijn kinderschoenen staat, kankerontwikkeling over het algemeen een heel aantal jaren in beslag neemt, en epidemiologische studies heel wat tijd vergen (bv. bij cohortstudies worden deelnemers over enkele jaren gevolgd), is de evidentie specifiek rond licht uit het blauwe deel van het spectrum momenteel nog beperkt. In de toekomst dient er dan ook nog meer onderzoek te gebeuren om een eventuele impact van NBV met ledverlichting op de gezondheid te kunnen inschatten.

Toekomstig onderzoek is ook nodig om de maatschappelijke gezondheidsimpact van NBV correct te kunnen inschatten. Verder zou het goed zijn om gebruik te maken van lichtmeters om de werkelijke blootstelling aan licht en specifieke lichtkleur te onderzoeken (in plaats van een schatting satellietbeelden of subjectieve bevragingen). Ook zou het nuttig zijn om de relatie tussen NBV en vroegtijdige gezondheidseffecten te bestuderen (bv. DNA schade).

## **Aanbevelingen**

Vlaanderen is koploper in lichtvervuiling. Deze extreme lichtvervuiling kan enkel aangepakt worden als meerdere actoren samenwerken. Lokale besturen evalueren bestaande openbare verlichting best kritisch bij de omschakeling naar ledverlichting zodat zoveel mogelijk verlichting tijdens de nachtelijke uren geweerd wordt. Ook is het belangrijk dat elk type beheerder van nachtelijke buitenverlichting gesensibiliseerd wordt om enkel te verlichten waar en wanneer dat nodig is. Als het toch niet anders kan, dan kunnen alternatieven overwogen worden zoals dimmen tot de laagst haalbare intensiteit of lichten die aanschieten als er iemand passeert met behulp van slimme technologie. Verder is het ook belangrijk om de lichtkleur te wijzigen indien mogelijk, waarbij zo weinig mogelijk licht uit het blauwe spectrum uitgestraald wordt. Zo streven alle actoren samen naar het terugwinnen van duisternis in Vlaanderen, opdat ieders lichaam de kans krijgt om de nodige rust- en herstelprocessen te laten plaatsvinden en gezondheidsproblemen te voorkomen.

Daarnaast lijkt het ook belangrijk om ervoor te zorgen dat NBV niet kan binnenvallen in (slaapkamer)ramen van woningen. Als dit niet vermeden kan worden, is het nodig om burgers te sensibiliseren tot het gebruik van verduisterende oplossingen 's avonds en tijdens het slapen.

# 1. Introductie

Deze introductie is een gezamenlijke realisatie van PIH en INBO. Het rapport over de literatuurstudie naar effecten van verlichting op biodiversiteit van INBO kan gevonden worden op: [pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit](https://pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit)

## 1.1 Waarom deze literatuurstudies?

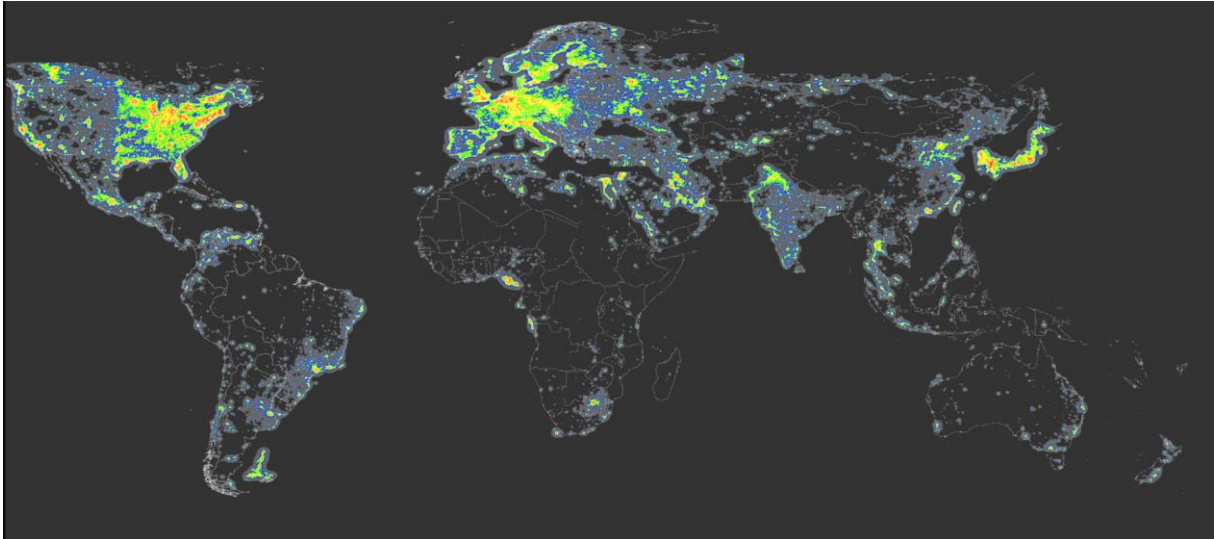
Zowel in steden als op het platteland is er massaal buitenverlichting geplaatst. De vervuiling van de natuurlijke duisternis met kunstlicht blijkt grote en onvermoede negatieve gevolgen te hebben voor de gezondheid van dieren en planten. Ook zijn er wetenschappelijke studies die een verband suggereren met tal van ziektes bij de mens. De recente en toekomstige omschakeling naar ledverlichting, die gebeurt in het kader van energiebesparing, zou de negatieve gevolgen nog vergroten. De wetenschappelijke literatuur hierover werd echter nog niet op een gestructureerde manier doorzocht en geïnterpreteerd.

De omschakeling naar ledverlichting brengt ook opportuniteiten mee. Daardoor is er een momentum om kritisch te evalueren welke lichtpunten aangepast of verwijderd kunnen worden op basis van huidige maatschappelijke noden en wetenschappelijke kennis over de negatieve gevolgen. Er zijn nog meer keuzes te maken wanneer er omgeschakeld wordt naar ledverlichting: bij gebruik van specifieke installatie en technieken kan ledverlichting aangestuurd worden vanop afstand (bv. aan- en uitschakelen, verandering van intensiteit zoals dimmen en versterken, sommige ledlampen kunnen van kleur wijzigen).

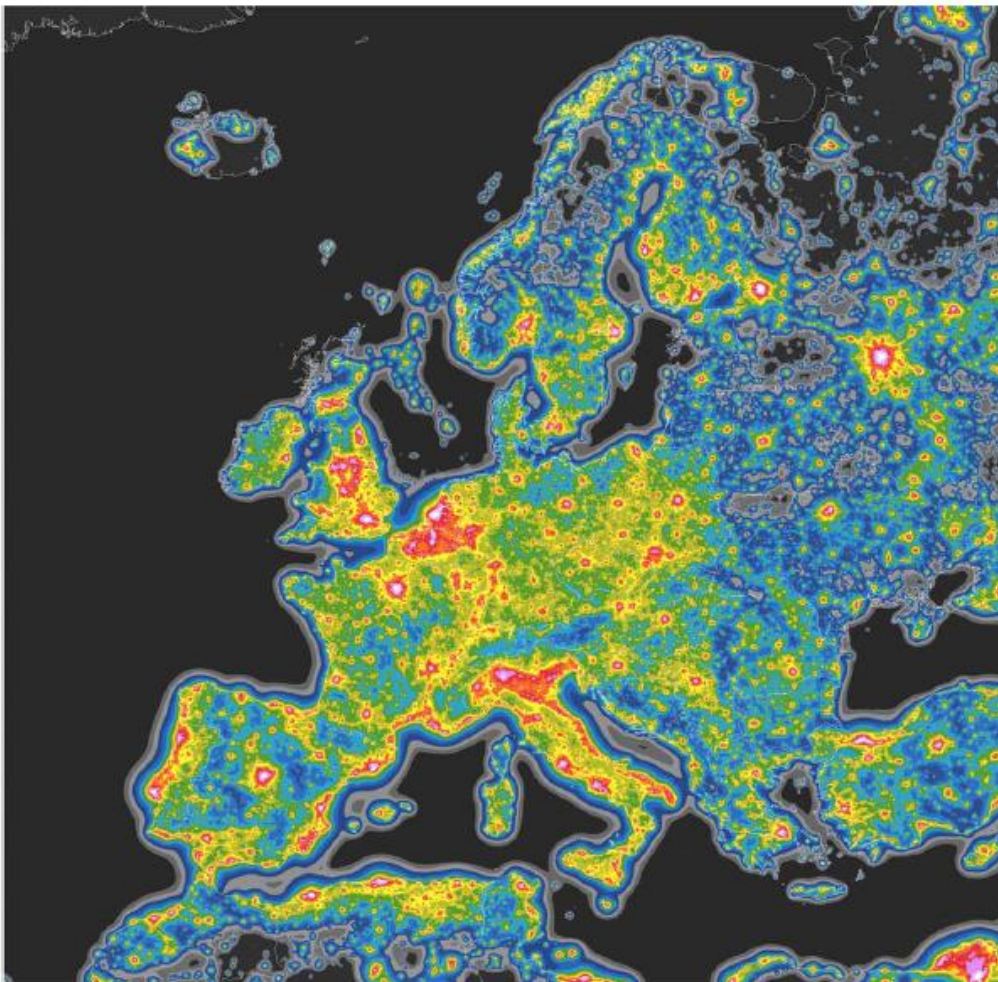
De vijf Vlaamse provincies en het interprovinciaal kenniscentrum (IPKC) ondersteunen daarom twee literatuurstudies: één naar effecten op biodiversiteit en één naar gezondheidseffecten bij de mens. Het doel is om uit de literatuurstudies wetenschappelijk onderbouwde adviezen te kunnen geven rond nachtelijk kunstlicht om de gezondheid van mens en soorten maximaal te beschermen (bv. de positie van nieuwe openbare ledverlichting, het soort armatuur, de lichtkleur, de intensiteit van de verlichting, en het al dan niet inzetten van slimme verlichting).

## 1.2 België koploper op vlak van lichtvervuiling

Door de massale plaatsing van nachtelijk kunstlicht over de laatste 100 jaar wordt de natuurlijke duisternis verstoord. We spreken daarom van '**lichtvervuiling**'. Falchi et al. (2016) ontwikkelden 'the world atlas of artificial sky brightness' om de ernst van lichtvervuiling te kunnen meten. Het niet meer kunnen zien van de melkweg is een maatstaf om de ernst aan te geven. Dat is voor 60% van de Europese bewoners het geval. België, en zeker Vlaanderen, springt er op kaarten die lichtvervuiling weergeven sterk uit ten opzichte van Europa en de rest van de wereld (zie Figuur 1 en Figuur 2). **België** deelt met Koeweit de **zesde plaats** op de wereldwijde ranking van aandeel landoppervlakte met een niet-zichtbare melkweg (m.n. 51% van het Belgische territorium), na Singapore, San Marina, Malta, West Bank en Qatar. Op deze kaarten is de verledening nog niet zichtbaar, aangezien de atlas gemaakt is op basis van data tussen 2007 en 2016. In bv. de openbare verlichting in Vlaanderen deed ledverlichting pas in 2015 zijn eerste intrede. Dit gebeurde eerst traag en vanaf 2017 werd dit standaard toegepast bij het plaatsen van nieuwe armaturen (zie punt 1.3). De verledening die over heel Europa verloopt, zorgt dat er een shift is naar meer licht uit het blauwe deel van het spectrum (zie 1.4.1) (De Miguel et al., 2022).



Figuur 1 Kaart van de wereld met artificiële hemelhelderheid in V-band, als een ratio ten opzichte van natuurlijke hemelhelderheid (verondersteld om  $174 \mu \text{cd/m}^2$  te zijn). Bron: Falchi et al. (2016), 'the world atlas of artificial sky brightness'.



Figuur 2 Kaart van Europa's artificiële hemelhelderheid in V-band, als een ratio ten opzichte van natuurlijke hemelhelderheid (verondersteld om  $174 \mu \text{cd/m}^2$  te zijn). Uit Falchi et al. (2016), waarbij 'the world atlas of artificial sky brightness' wordt voorgesteld.

### 1.3 Bronnen van lichtvervuiling en evolutie

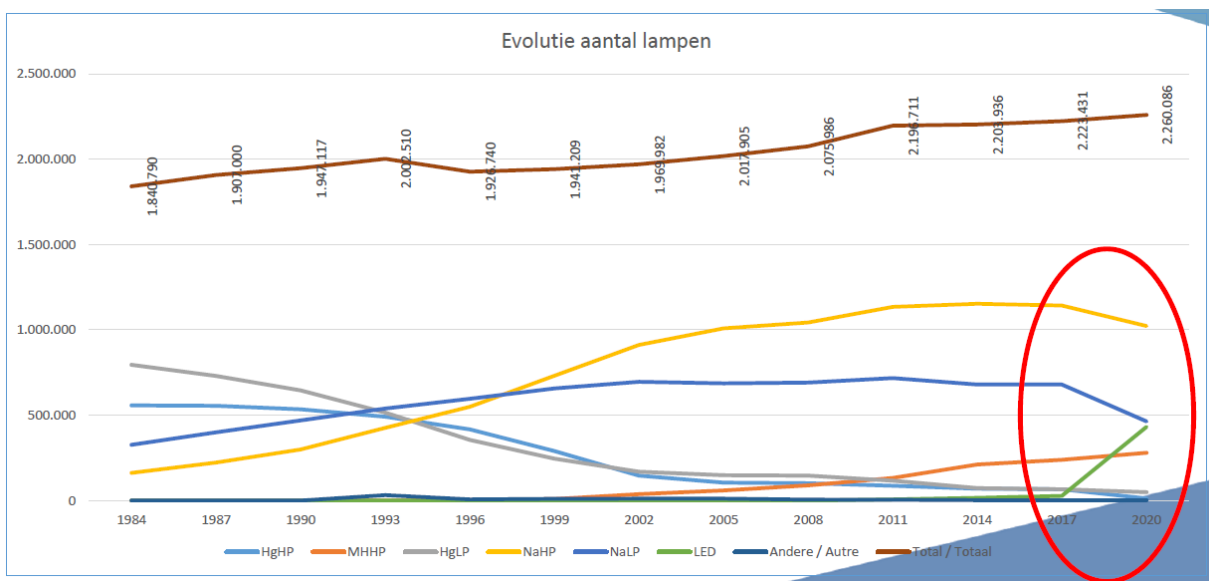
Nachtelijk kunstlicht wordt geplaatst om de zichtbaarheid voor mensen te verhogen. Zo wordt openbare verlichting, verlichting van industrie, KMO, sport-, parkeer- en privéterreinen geplaatst met de bedoeling om ongevallen bij nachtelijk werk of tijdens verplaatsingen te voorkomen. Daarnaast worden ook sociale redenen aangehaald voor het gebruik van nachtelijke verlichting, namelijk om (het gevoel van) veiligheid te verhogen m.b.t. criminaliteit (Struyf et al., 2019) of omwille van de sfeer. Verder wordt nachtelijk kunstlicht o.a. ook gebruikt in de landbouw om de efficiëntie te verhogen (bv. serres,...) en in de horeca en handel sector ter ondersteuning van reclame.

Recentelijk is er een **omschakeling** bezig van oudere types lampen naar **ledverlichting**. Dit is zowel het geval voor particuliere verlichting, arbeid gerelateerde verlichting als openbare verlichting. Voor openbare verlichting zijn er cijfers beschikbaar over deze omschakeling.

De Vlaamse Regering besliste in 2019 om tegen 2030 alle openbare verlichting om te schakelen naar ledverlichting. Ten opzichte van de vroeger geplaatste openbare verlichting (zoals natriumlampen, hogedrukkwiklampen, fluorescentielampen of metaalhalogenide lampen) is ledverlichting energie-efficiënter wanneer ze wit licht uitzenden. Bij gebruik van specifieke installatie en technieken kan ledverlichting eenvoudiger aangestuurd worden, soms ook vanop afstand (bv. aan- en uitschakelen, verandering van intensiteit zoals dimmen en versterken, sommige ledlampen kunnen van kleur wijzigen). Wit licht, zoals vaak gebruikt bij ledlampen, geeft de weggebruiker een duidelijker zicht in het donker, doordat kleuren beter waar te nemen zijn door mensen. Dit witte licht bevat echter veel licht uit het blauwe spectrum (zie punt 1.4.1).

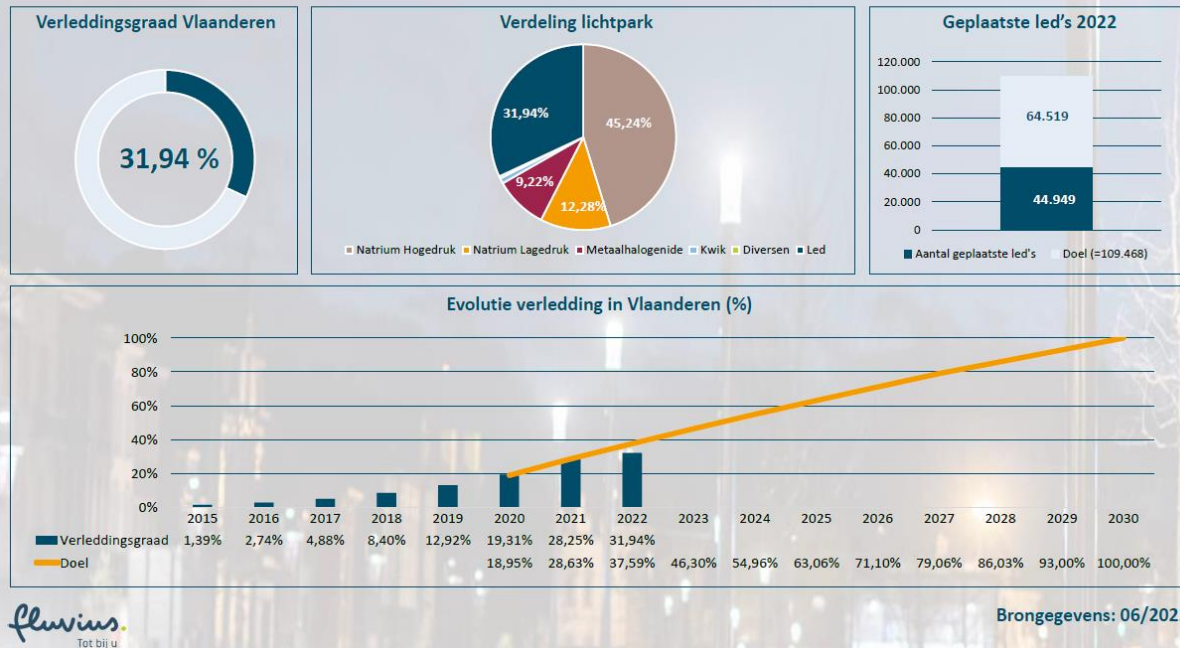
De verledning van de openbare verlichting is al volop bezig. Figuur 3 toont de evolutie van het aantal openbare lampen in België per type verlichtingsbron tot 2020. In de jaren '90 zien we een daling van de hoge- en lagedruk kwikdamplampen (HGHP en HGLP) en een stijging van de natrium hogedruk lampen (NAHP). Vanaf 2000 komen de metaalhalogenide lampen op, al blijft hun aandeel beperkt ten opzichte van andere verlichtingsbronnen. Tussen 2015 en 2017 komen de eerste ledlampen, maar pas vanaf 2017 is een duidelijke stijging te zien. Verder zijn er **steeds meer openbare verlichtingsbronnen bijgeplaatst** (bruine lijn, 'totaal'), met in 2020 een totaal aantal van 2.260.086.

Kijken we enkel naar Vlaanderen, dan toont Figuur 4 de evolutie van de verledning tot juni 2022, met op dat moment een verledingsgraad van 32%.



**Figuur 3: Evolutie aantal openbare lampen in België per type verlichtingsbron van 1984 tot 2020. HgHP= kwikhogedruklampen; MHHP=metaalhalogenide lampen; HgLP=kwiklagedruklampen; NaHP=natrium hogedruk lampen, NaLP=natrium lagedruk lampen; LED=light emitting diodes. (bron: Collard (zonder datum)).**

## Rapport VEKA: openbare verlichting Vlaanderen



Figuur 4 Bovenaan: aandeel ledverlichting Vlaanderen in juni 2022. Onderaan: Evolutie van de verleddingsgraad in Vlaanderen (Fluvius, 2022).

Nota: cijfers in figuur handelen over openbare verlichting beheerd door Fluvius.

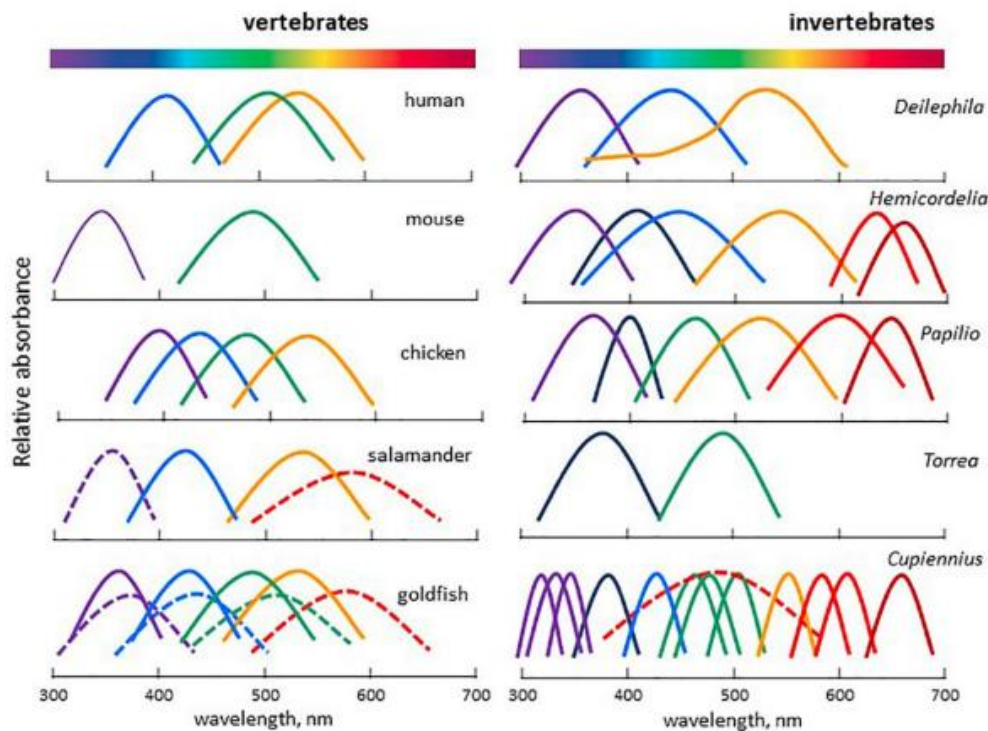
### 1.4 Gehanteerde termen, definities, eenheden en afkortingen

Er zijn **twee variabelen** die licht beschrijven die erg belangrijk zijn in deze literatuurstudies, namelijk **lichtkleur** en **lichtsterkte**. Daarnaast heeft licht ook nog eigenschappen, zoals polarisatie (trillingsrichting), die minder relevant zijn voor deze literatuurstudies en hier daarom niet besproken worden.

#### 1.4.1 Lichtkleur

De kleur van licht is een belangrijke eigenschap die het effect van licht op biodiversiteit en de mens mee bepaalt. De kleur van licht wordt bepaald door de relatieve verdeling en het gewicht van verschillende golflengtes waaruit het licht is samengesteld. Daarnaast bepaalt ook het type fotoreceptoren van de diersoort hoe kleur gezien wordt, omdat elk type fotoreceptor gevoelig is voor een specifiek spectrum van golflengtes. Een voorbeeld van zo'n fotoreceptoren zijn de staafjes en kegeltjes in het netvlies van het oog bij mensen.

Rood licht bestaat uit lange golflengtes, terwijl blauw licht uit korte golflengtes bestaat. Deze golflengtes worden gemeten in nanometer (nm). Mensen kunnen licht waarnemen tussen 380 nm en 780 nm. Deze range wordt dan ook het visuele spectrum genoemd. Het spectrum dat andere soorten kunnen zien is erg soort specifiek (zie ook Figuur 5).

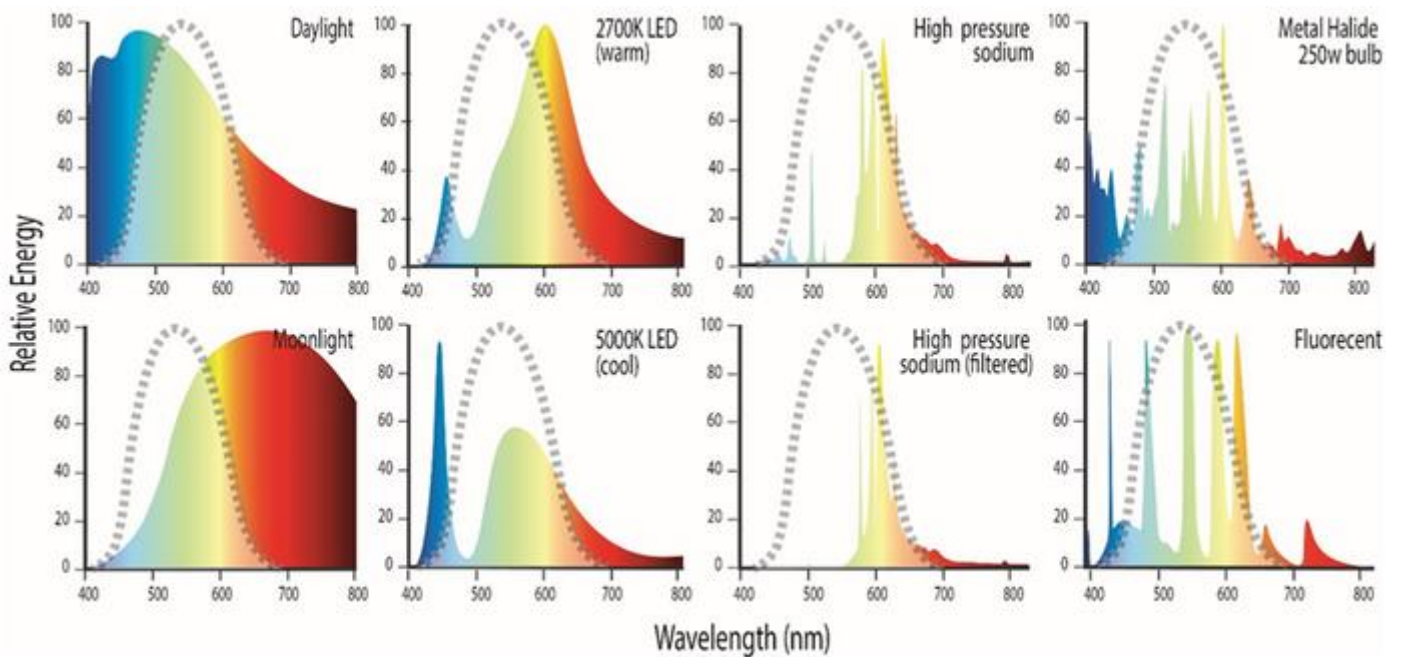


**Figuur 5: gevoeligheid van een aantal soorten voor verschillende golflengtes, van blauw (korte golflengtes) tot rood licht (lange golflengtes). Soorten hebben andere fotoreceptoren die een piekgevoeligheid hebben voor andere golflengtes. Soorten: Mens (*Homo sapiens*), Huismuis (*Mus musculus*), Kip (*Gallus domesticus*), salamander (*Salamandra*), Goudvis (*Carassius auratus*), Pijlstaart (nachtvlinder) (*Deilephila elpenor*), Libel (*Hemicordulia tau*), dagvlinder (*Papilio xuthus*), ringworm (*Torrea candida*), nachttactieve spin (*Cupiennius salei*). Figuur uit Falcón et al. (2020).**

Verschillende lichtbronnen geven licht met verschillende golflengtes uit het spectrum, en worden daardoor waargenomen in een andere kleur. In Tabel 1 wordt voor verschillende veelgebruikte lamptypes weergegeven hoe mensen de kleur zien, hoe breed het spectrum is en of ze ook licht uit het ultraviolet deel van het spectrum uitstralen. Figuur 6 toont de verdeling van verschillende golflengtes waaruit het licht van veelgebruikte lamptypes is samengesteld.

**Tabel 1 Lichteigenschaften van verschillende veelgebruikte lamptypes (naar Voigt et al. (2018))**

Type	Kleur (hoe mensen het zien)	Spectrum	Ultraviolet?
Lage Druk Natriumlamp	Geel-oranje	Nauw spectrum	Nee
Hoge druk natriumlamp	Geel-oranje	Breed spectrum	Beperkt
led (light-emitting diodes)	Elke kleur mogelijk, maar bevat meestal meer blauw licht dan natriumlampen	Spectrum hangt af van de kleur	Nee
Kwikdamplamp	Blauw-wit	Gemiddeld spectrum	Ja
Metaalhalogenide lamp	Blauw-wit	Breed spectrum	Ja (minder dan kwikdamp)
Fluorescentielamp (TL-lamp)	Elke kleur mogelijk, meestal blauw-wit	Spectrum hangt af van de kleur	Ja (minder dan kwikdamp)

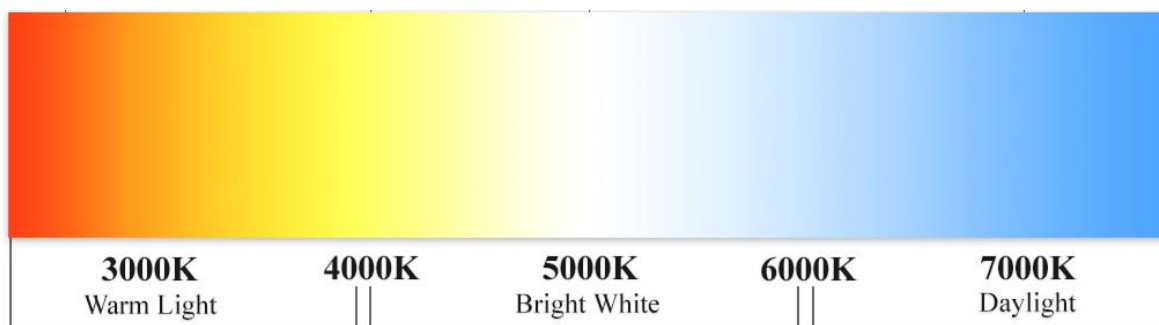


**Figuur 6: Verdeling van lichtspectra van daglicht, maanlicht en enkele veelgebruikte lamptypes. Bij ledverlichting worden twee types aangeduid met verschillende kleurtemperatuur (zie verder). High pressure sodium = hoge druk natriumlamp. De grijze stippellijn duidt het deel aan waarvoor lux-meters gevoelig zijn. Figuur naar De Barros Marangoni et al. (2022).**

Lichtkleur wordt vaak uitgedrukt in een spectrum (bv. 400-470 nm), maar soms ook in de piek van het spectrum. Daarnaast wordt soms de term kleurtemperatuur gebruikt. **Kleurtemperatuur** (Correlated colour temperature (CCT)), **uitgedrukt in Kelvin (K)** is een ruwe voorstelling van de kleur van licht in één getal. Deze maat wordt vooral gebruikt bij licht- en lampdesign. Lichtbronnen met een gelijkaardige kleurtemperatuur kunnen echter toch een verschillend spectrum hebben, en de maat wordt daarom minder gebruikt in wetenschappelijke studies. Ondanks deze tekortkoming kan het wel een nuttige maat zijn in beleid en wordt de maat af en toe gebruikt in deze rapporten.

Blauwachtig licht (korte golflengte) heeft een hogere kleurtemperatuur. Roodachtig licht (langere golflengte) heeft een lagere kleurtemperatuur. Warm licht is ongeveer 2700 K, neutraal wit licht ongeveer 4000 tot 5000 K en blauwachtig wit licht is 6000 K (zie Figuur 7).

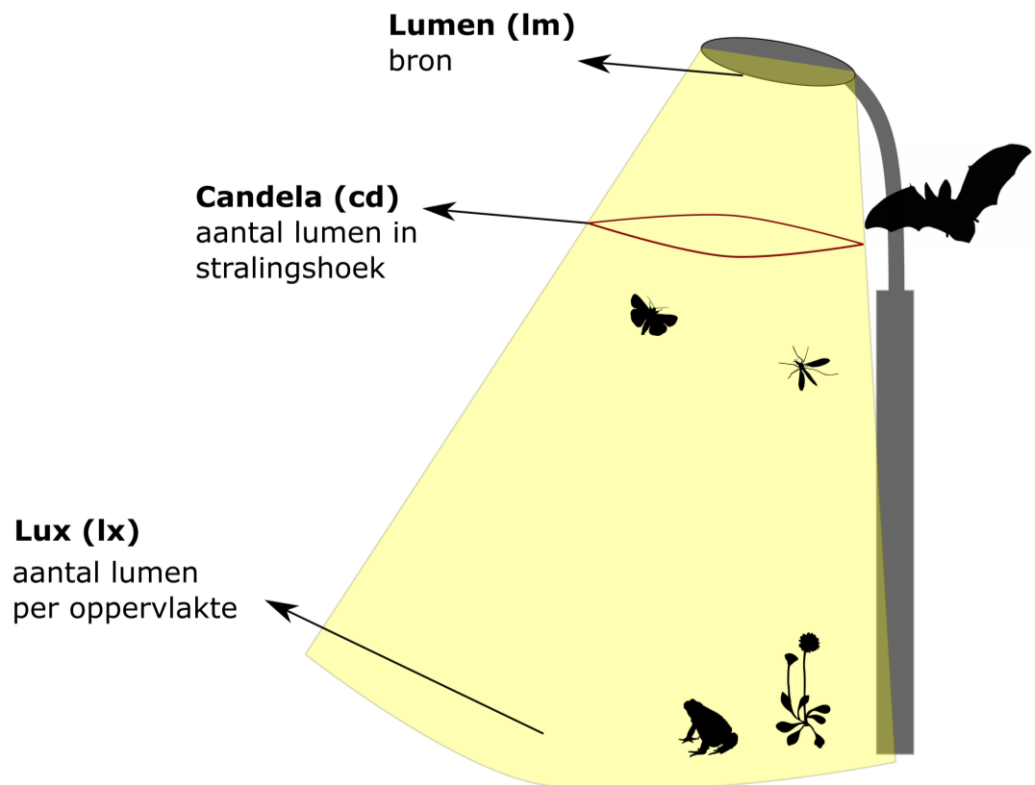
Bij de verdediging van openbare verlichting in Vlaamse steden en gemeenten adviseert Fluvius het gebruik van ledlampen van 3000K; andere opties zijn lampen van 4000K of een beperkt aanbod lampen van 2700K voor gevoelige gebieden.



**Figuur 7: Kleurtemperatuurschaal, uitgedrukt in Kelvin. (Ultra-Vision, 2021)**

### 1.4.2 Lichtintensiteit

Licht intensiteit, of de sterkte van het licht, is naast kleur eveneens een belangrijke eigenschap die het effect van licht op biodiversiteit en de mens mee kan bepalen. In wetenschappelijke literatuur worden verschillende maten gebruikt, soms door elkaar, wat het vergelijken van studies niet altijd eenvoudig maakt. Tabel 2 en Figuur 8 geven een overzicht van de eenheden, die ook in dit rapport gebruikt worden. Een belangrijke opmerking hierbij is dat deze waarden gebaseerd zijn op menselijke lichtgevoeligheid, en daarom niet altijd overeenkomen met wat dieren als sterk verlicht kunnen ervaren als ze voor andere golflengtes gevoelig zijn (zie ook Figuur 5). Een andere opmerking ter interpretatie bij Figuur 8: stel dat je de lichtbundel verdubbelt, dan heeft een dubbele lichtbundel een grotere lichtstroom (in lumen) maar dezelfde lichtsterkte (in candela) als een enkele lichtbundel.



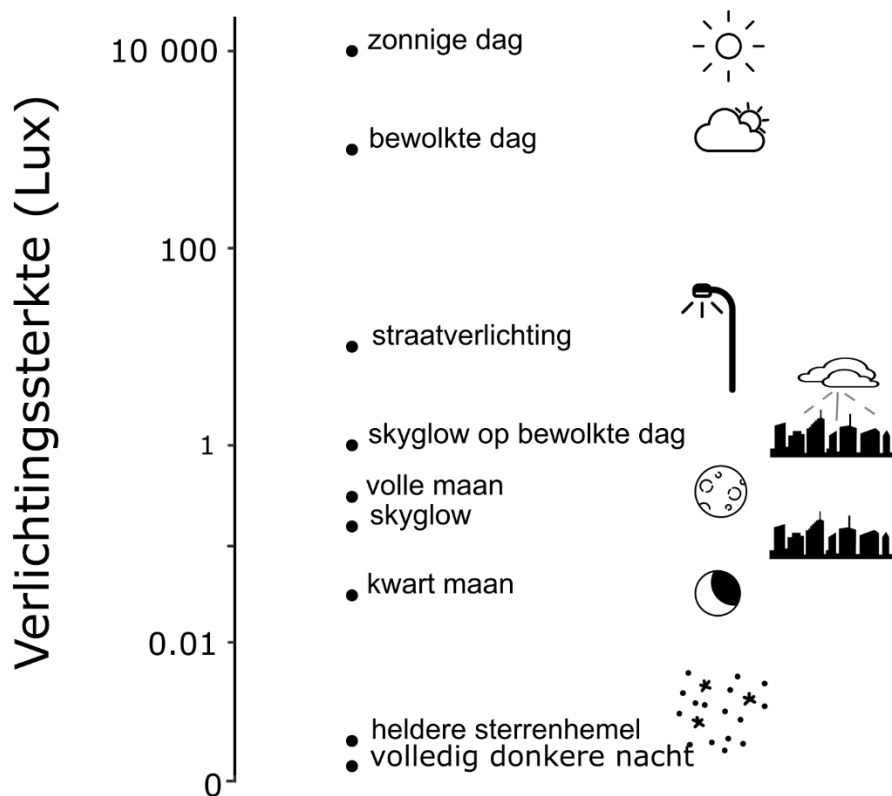
**Figuur 8: Grafische uitleg van de verschillende maten voor lichtintensiteit: verlichtingssterkte (in lux; lx), lichtsterkte (in candela; cd) en lichtstroom (in lumen; lm).**



**Tabel 2: Eenheden voor lichtintensiteit**

Naam	Korte uitleg	Eenheid	omzetting	opmerkingen
Lichtsterkte (luminositeit)	Hoeveelheid licht die door een lichtbron in een bepaalde richting uitgestraald wordt. (=stralingshoek = steradiaal=sr). Dit is een maat voor lichtdichtheid.	Candela (Cd)	$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm}/1 \text{ sr}$	Eigenschap van een lichtbron
Lichtstroom	Hoeveelheid zichtbaar licht die door een lichtbron per tijdseenheid uitgestraald wordt. Deze maat is afhankelijk van het vermogen van de bron en de kleur van het licht.	Lumen (lm)	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr}$	Eigenschap van een lichtbron
Verlichtingssterkte (illuminantie)	Ontvangen lichthoeveelheid per oppervlakte-eenheid	Lux (lx)	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} / \text{m}^2$	Eigenschap van een omgeving, licht kan afkomstig zijn van meerdere lichtbronnen.
Bestralingssterkte per stralingshoek	Vermogen per oppervlakte-eenheid per ruimtehoek	Watt / m <sup>2</sup> / sr		Deze maat wordt voornamelijk gebruikt bij satellietbeelden, en is niet makkelijk om te zetten naar andere maten.

**Nota:** deze eenheden zijn gebaseerd op menselijke lichtgevoeligheid, en komen daarom niet altijd overeen met wat dieren als sterk verlicht kunnen ervaren als ze voor andere golflengtes gevoelig zijn (zie ook figuur 5).



**Figuur 9** Vergelijking van de verlichtingssterkte van straatverlichting en skyglow met die van natuurlijke lichtbronnen. Gebaseerd op Gaston et al. (2013). Let op het gebruik van een logaritmische schaal.

Figuur 9 toont visueel hoe de verlichtingssterkte van straatverlichting en helderheid van de nachthemel ten gevolge artificiële verlichting ('skyglow') zich verhoudt tot die van natuurlijke lichtbronnen.

### 1.4.3 Nachtelijke buitenverlichting en nachtelijk kunstlicht

In de literatuurstudie rond gezondheid van mensen wordt de **term 'nachtelijke buitenverlichting' (NBV)** gehanteerd. Het gaat hierbij om artificiële verlichting buiten tijdens de uren dat het normaal gezien donker is. 'Buiten' wordt hierbij gespecificeerd, omdat er voor mensen ook blootstelling is aan artificiële verlichting in binnenruimtes, en aan lichtgevende beeldschermen (computerschermen, televisieschermen, smartphoneschermen, tabletschermen etc.).

In de literatuurstudie rond biodiversiteit spreken we over '**nachtelijk kunstlicht' (NKL)**, aangezien ook laboratoriumexperimenten meegenomen worden.

## 2. Onderzoeksvraag

In deze literatuurstudie wordt de **relatie** tussen **artificiële nachtelijke buitenverlichting (NBV)** en de **fysieke en mentale gezondheid van mensen** onderzocht. Omdat het moeilijk is om enkel lichtpollutie van openbare verlichting te meten, omvat NBV de verlichting van alle lichtbronnen buiten, dus ook verlichting van industrie en KMO terreinen, landbouw, sportterreinen, handel, retail en particulieren. Daarnaast wordt er gekeken naar alle lichtkleuren. Wat niet bekeken wordt, is de relatie van NBV met veiligheid en subjectief veiligheidsgevoel, zowel naar ongevallen als naar criminaliteit toe. Experts in dit thema deden hierover reeds een literatuurstudie en schreven een praktijkgids in het kader van het Europees 'Smart Light Concepts' (SLIC) project (Struyf et al., 2019; Struyf et al., 2020). Ook wordt de literatuur naar het effect van artificiële nachtelijke binnenverlichting niet meegenomen. Dit is immers niet relevant voor het doel van de literatuurstudie, namelijk gemeenten wetenschappelijk onderbouwd advies geven over het plaatsen van nieuwe openbare verlichting.

### 3. Methode

De stapsgewijze methodologie 'Rapid Review' volgens de beschrijving van de WHO wordt gehanteerd voor deze literatuurstudie (Tricco, 2017).

Stap 1 is de definitie van de onderzoeksvraag.

Er werd afgestemd met de 'Expertenwerkgroep verlichting, biodiversiteit & gezondheid' wat de precieze noden zijn. De expertengroep bestaat uit vertegenwoordigers van de provincies, regionale landschappen, Agentschap Natuur en Bos, Agentschap Wegen en Verkeer, het Instituut voor Natuur en Bos Onderzoek en Leve(n)de Nacht vzw. Deze groep werd voor de verdere opvolging van de literatuurstudie uitgebreid tot een begeleidingsgroep, zie colofon vooraan met een lijst van alle partners. Het topic werd daarna gekozen en verfijnd. Zo volgde de beslissing om subjectief en objectief veiligheidsgevoel niet mee te nemen, omdat recent al een literatuuronderzoek rond openbare verlichting en de relatie met criminaliteit, angst voor criminaliteit en veiligheid op de weg gebeurde door experts in dit vakgebied (Struyf et al., 2019). Ook werd beslist om enkel studies rond nachtelijke verlichting buiten mee te nemen, omdat dit het best aansluit bij de onderzoeksvraag.

Stap 2 is de ontwikkeling van het protocol.

Er werd gekozen om te zoeken via de vrij toegankelijke interface PubMed®, die de wetenschappelijke databanken 'MEDLINE' en 'PubMed Central' doorzoekt.

Om de onderzoeksvraag te specificeren, werd gebruik gemaakt van het PECO formaat:

- **Population:** algemene bevolking; mensen, geen dieren; geen restricties qua doelgroep of leeftijdsgroep.
- **Exposure:** Artificiële NBV; zowel openbare verlichting als verlichting aan de buitenkant van huizen, winkels, ...; zowel conventionele verlichting als ledverlichting in verschillende spectra; zowel continue als aan- en afspringende verlichting; zowel hoge als lage intensiteit.
- **Control:** Geen, beperktere intensiteit of verschillend spectrum van NBV.
- **Outcome:** fysieke en mentale gezondheid in het algemeen.

Als geschiktheidscriteria voor studies werden volgende criteria vooropgesteld:

- Studie design:  
**Geschikt:** systematische reviews, interventiestudies die een verandering onderzoeken in artificiële NBV, studies die dosis-effect relaties van artificiële NBV onderzoeken (bv. cross-sectionele studies die associaties onderzoeken tussen intensiteit van artificieel licht 's nachts, verlichtingssoort of duur van de blootstelling en gezondheidseffecten), kwalitatieve studies.  
**Niet geschikt:** studies die focussen op therapeutische interventies, gericht op een individu in plaats van op een populatie, studies met slechts één deelnemer dus geen case rapportering, niet-systematische reviews, opinies.
- Timing: alles beschikbaar in de gebruikte literatuuurdatabank, tot het moment van de literatuur doorzoeking. De databanken waarin PubMed zoekt bevatten artikels vanaf 1966. De doorzoeking gebeurde in april 2021.
- Setting: geen restricties; de literatuur dient wel steeds te gaan over NBV; bij artikels die handelen over binnenverlichting wordt er gekeken of er een link is met buitenverlichting.
- Taal: studies gepubliceerd in het Engels, Nederlands of Frans.

Stap 3 is het doorzoeken van de literatuur.

PubMed is in eerste instantie een medische databank. Ze is dus gericht op de uitkomst van de literatuurstudie, m.n. gezondheid en ziekte. Om een zo breed mogelijk beeld te krijgen van onderzochte gezondheidseffecten in relatie tot NBV, werd er geen zoekterm voor de gezondheidsuitkomsten gespecificeerd. Dit leverde meer zoekitems op.

De zoektermen rond blootstelling werden geoptimaliseerd in overleg met de begeleidingsgroep, opdat door de experts gekende literatuur te vinden was in het zoekresultaat. De uiteindelijke zoektermen waren:

(light OR lighting OR illumination) AND (night OR nighttime OR dark OR nocturnal OR glare)  
AND  
(outdoor OR pollution OR environmental OR road)

Voor het hanteren van de geschiktheidscriteria werd gewerkt met volgende filters bij het doorzoeken van de databanken via PubMed:

- Article type: Books and documents, classical article, clinical study, clinical trial, controlled clinical trial, corrected and republished article, evaluation study, government publication, guideline, journal article, letter, meta-analysis, multicenter study, observational study, preprint, published erratum, randomized controlled trial, review, systematic review, technical report.
- Language: Dutch, English, French.
- Species: Humans

Stap 4 is screening van de gevonden literatuur en de selectie van studies.

Om potentieel relevante items te selecteren, werd er in eerste instantie gescreend op de **titel**, en in tweede instantie op de **korte samenvatting van de studie (abstract)**. Deze maken vaak al duidelijk dat het artikel niet handelt over de onderzoeksvraag.

Op basis van de titel en abstract selectie werd er geteld hoeveel items er geselecteerd waren per beschreven gezondheidseindpunt. Indien te weinig informatie beschikbaar was over bepaalde gezondheidsuitkomsten, werd in overleg met de begeleidingsgroep gekozen om deze gezondheidsuitkomst niet verder te onderzoeken voor dit rapport.

De volledige tekst van alle artikels die de geselecteerde gezondheidsuitkomsten onderzochten, werd gratis gedownload of aangekocht. Bij het doornemen van de volledige tekst werd geanalyseerd of het artikel beantwoordt aan de onderzoeksvraag; zoniet, dan werd het niet weerhouden. Deze screeningsprocedure werd voorgelegd aan de begeleidingsgroep, zodat ze input konden geven waar nodig.

Nota: als enkel binnenverlichting vermeld werd als blootstelling in de titel, dan werd het item weerhouden om op basis van het abstract, en eventueel de volledige tekst, uit te maken of buitenlicht een duidelijke invloed heeft op de onderzochte blootstelling.

Stap 5 is de data extractie.

Wanneer recente kwalitatieve systematische reviews inclusief meta-analyse beschikbaar waren voor een bepaalde gezondheidsuitkomst, dan worden die resultaten overgenomen. Dit soort artikel zoekt systematisch naar bestaande literatuur over een specifiek onderwerp, en maakt een statistische berekening van de resultaten over de gevonden individuele artikels heen. Dat maakt dat dit type artikel robuustere en betrouwbaardere resultaten oplevert dan de individuele artikels. Statistische cijfers, zoals de odds ratio (OR) en het 95% betrouwbaarheidsinterval (BI), worden overgenomen uit de meta-analyse. Individuele studies gepubliceerd vóór de systematische review worden in dat geval enkel

besproken indien er relevante extra informatie terug te vinden is over de relatie tussen NBV en die gezondheidsuitkomst.

Stap 6 is een inschatting van het risico op bias of de kwaliteit van weerhouden studies.

Om het dubbel tellen van resultaten te voorkomen, werd er nagekeken of meerdere publicaties geïnccludeerd werden die in feite gaan over dezelfde studie. De inschatting van het risico op bias van bestaande systematische reviews werd overgenomen. Voor individuele studies werd geen andere systematische kwaliteitscontrole gedaan in het kader van deze literatuurstudie, omwille van haalbaarheid binnen de voorziene opdracht.

Stap 7 is het uitschrijven van de bevindingen.

De resultaten van het literatuuronderzoek werden uitgeschreven in een narratieve samenvatting, inclusief een bespreking van beperkingen en sterktes van de beschreven studies.

Stap 8 is de review door experts.

Het draft rapport werd nagelezen door de leden van de begeleidingsgroep.

Statistische termen:

\*Odds ratio: dit is de ratio van twee kansverhoudingen of ook 'odds' genoemd. Neem nu bv. de odds ratio voor borstkanker tussen een groep met hoge blootstelling aan licht en een groep met lage blootstelling aan licht. De 'odds' of waarschijnlijkheid in de teller is dan de verhouding van het aantal mensen met borstkanker en het aantal mensen zonder in de groep met hoogste blootstelling. De 'odds' of waarschijnlijkheid van de noemer is de verhouding tussen het aantal mensen met borstkanker en het aantal mensen zonder borstkanker in de groep met de laagste blootstelling. De odds ratio is dus de verhouding tussen de waarschijnlijkheid op borstkanker bij hoge blootstelling ten opzichte van de waarschijnlijkheid op borstkanker bij lage blootstelling.

$$\text{Odds ratio} = \frac{\text{odds op borstkanker hebben bij hoge blootstelling}}{\text{odds op borstkanker hebben bij lage blootstelling}}$$

\*Hazard ratio: dit is opnieuw een ratio van twee kansverhoudingen, maar hier dan van twee 'hazard rates'. Daarbij is de hazard rate het aantal gebeurtenissen (bv. nieuwe diagnose van borstkanker) voor een zekere tijdsperiode gedeeld door het aantal personen die risico lopen op de gebeurtenis aan het begin van die tijdsperiode. De hazard ratio's vermeld in dit rapport worden geïnterpreteerd als de kans op een gebeurtenis (bv. nieuwe diagnose van borstkanker) in de hoogst blootgestelde groep ten opzichte van de kans op die gebeurtenis in de laagst blootgestelde groep.

\*Betrouwbaarheidsinterval (BI) en statistisch significantieniveau: bij statistische analyses wordt er steeds een inschatting gemaakt van een onderliggende kans of verband in een echte populatie op basis van een studiebevolking. Op die inschatting zit onzekerheid. Betrouwbaarheidsintervallen geven een range van onzekerheid aan rond die inschatting. We kunnen nooit 100% zeker zijn van statistische inschattingen. Daarom hanteert men een statistisch significantieniveau, vaak 5% tenzij anders vermeld. Dat wil zeggen dat men maximum 5% foute inschattingen tolereert, bv. dat resultaten bij toeval een verschil tonen tussen twee groepen terwijl er in werkelijkheid geen verschil is. Het betrouwbaarheidsinterval dat hoort bij een significantieniveau van 5% is het 95% betrouwbaarheidsinterval.

\*Enkele voorbeelden om de interpretatie van de termen beter te illustreren:

Stel dat de odds ratio op borstkanker bij hoge ten opzichte van lage blootstelling aan licht 1 is, dan wil dat zeggen dat er geen verschil is tussen twee groepen.

Stel dat de odds ratio op borstkanker bij hoge ten opzichte van lage blootstelling aan licht 1,5 is, dan wil dat zeggen dat er 1,5 keer hogere waarschijnlijkheid (of 50% meer kans of de helft meer kans) is op borstkanker in de groep met hoge ten opzichte van de groep met lage blootstelling. Stel dat het 95% betrouwbaarheidsinterval rond deze odds ratio 1,2 tot 1,7 is, dan is deze odds ratio statistisch significant. We noemen het resultaat van 1,5 keer hogere waarschijnlijkheid bij de hoge ten opzichte van lage blootstelling dan een 'statistisch significant' verschil. Stel dat de odds ratio 0,8 tot 2,1 is, dan ligt de waarde 1 in het interval. In dit geval is de odds ratio van 1,5 niet statistisch significant en is er geen bewezen verschil tussen de twee groepen.

## 4. Resultaten en bespreking

De combinatie van zoektermen en filters leverde **3.245 items** op. Na de titel selectie bleven er nog 373 items over, met een verdere reductie tot 152 items na het lezen van de abstracts. Ze handelden over 15 groepen van gezondheidsuitkomsten. De volgende gezondheidsuitkomsten werden niet verder bekeken omwille van een te beperkt aantal gevonden items na titel en abstract selectie: cardiovasculaire aandoeningen (3 items), huidaandoeningen (2 items), metabole stoornis (5 items), gedrag (3 items), infecties (1 item) en foetale ontwikkeling (1 item). De overige 6 gezondheidsuitkomsten worden hieronder besproken.

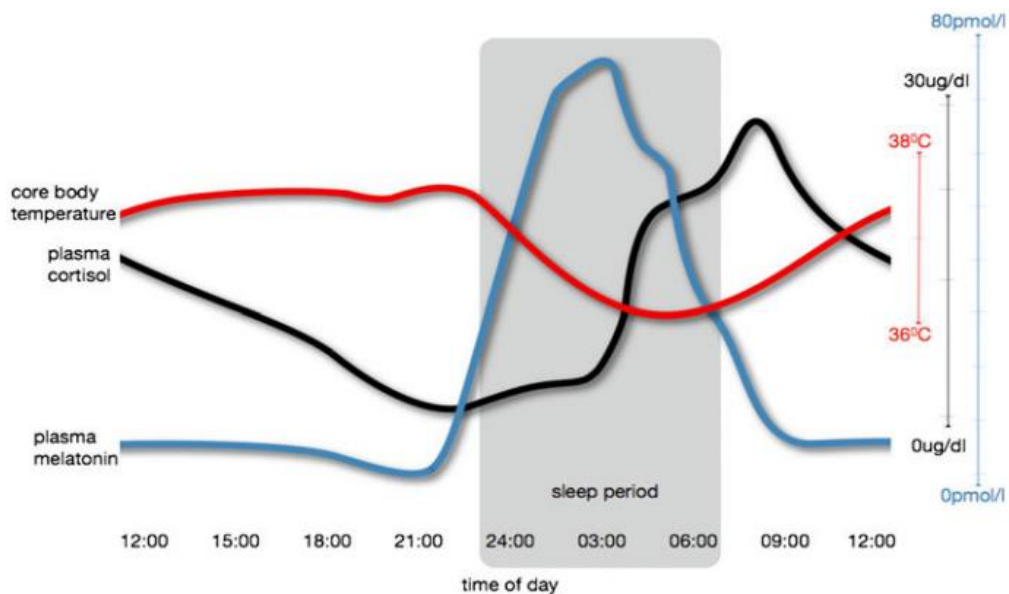
### 4.1 Relatie NBV met dag-nacht (circadiaans) ritme en slaap

In het kort:

- We vinden een veelheid aan verschillende gegevens uit een systematische review die experimenten van licht op melatonine en slaap bundelde en uit 6 artikels die satellietbeelden linkten aan een reeks slaapparameters. Het geheel aan bevindingen suggereert dat NBV één van de oorzaken is van een verstoord circadiaans ritme van het hormoon melatonine en verstoringen van het normale slaappatroon.
- Licht uit het blauwe spectrum vormt het grootste risico. Dit komt omdat het fotonpigment melanopsin, dat instaat voor het doorsturen van signalen over licht en donker vanuit het netvlies van het oog naar de interne klok in de hersenen, het meest gevoelig is voor blauw licht.

Een biologisch ritme verwijst naar periodische fysiologische variaties in een organisme in functie van de tijd. Het zorgt voor lange-termijn aanpassing van het organisme aan zijn omgeving. Het circadiaans ritme is een biologisch ritme waarbij hetzelfde patroon van fysiologische variaties zich afspeelt elke +/- 24 uur. Het circadiaans ritme wordt gegenereerd en gecontroleerd door een interne klok, een soort oscillator, gelokaliseerd in de suprachiasmatische nuclei van de hypothalamus in de hersenen. Deze interne klok organiseert de dagelijks terugkerende fysiologische functies zoals hormoon secretie (bv. secretiepiek van melatonine hormoon 's avonds en 's nachts en secretiepiek van cortisol gedurende de dag, zie Figuur 10), rapid-eye-movement slaap (REM slaap) en lichaamstemperatuur. Via prikkels uit de omgeving zoals licht wordt de klok gesynchroniseerd met de omgeving (Hickie et al., 2013).





**Figuur 10** Normaal circadiaans ritme van de lichaamstemperatuur (rode lijn) en van de hormonen cortisol (zwarte lijn) en melatonine (blauwe lijn) en hun relatie met slaap en activiteit overdag (uit Hickie et al. (2013)).

We spenderen ongeveer één derde van ons leven al slapend. Slaap is een basisbehoefte van mensen. Een goede slaapkwaliteit is essentieel voor onze gezondheid, welbevinden en prestaties overdag. De belangrijkste effecten van slaapttekort omvatten fysieke effecten (zoals slaperigheid, vermoeidheid, hoge bloeddruk), cognitieve beperkingen (zoals slechtere prestaties, aandacht en motivatie, vermindering van intellectuele capaciteit en verhoogde kans op accidenten op het werk en tijdens het rijden) en mentale gezondheidsproblemen. Onvoldoende rust beperkt de mogelijkheid om te denken, een gezond immuun systeem te behouden en om te gaan met stress en emoties (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2004). Volgens de nationale gezondheidsenquête van 2013 rapporteert meer dan één persoon op vier (28%) van 15 jaar of ouder in het Vlaams Gewest slaapproblemen. Het voorkomen van slaapproblemen is hoger op oudere leeftijd, bv. 37% bij de leeftijdsgroep van 75 jaar en ouder. Personen uit de laagst opgeleide milieus worden meer getroffen door slaapproblemen dan personen uit de hoogst opgeleide milieus (Heyden & Charafeddine, 2013).

#### 4.1.1. Resultaat literatuurstudie

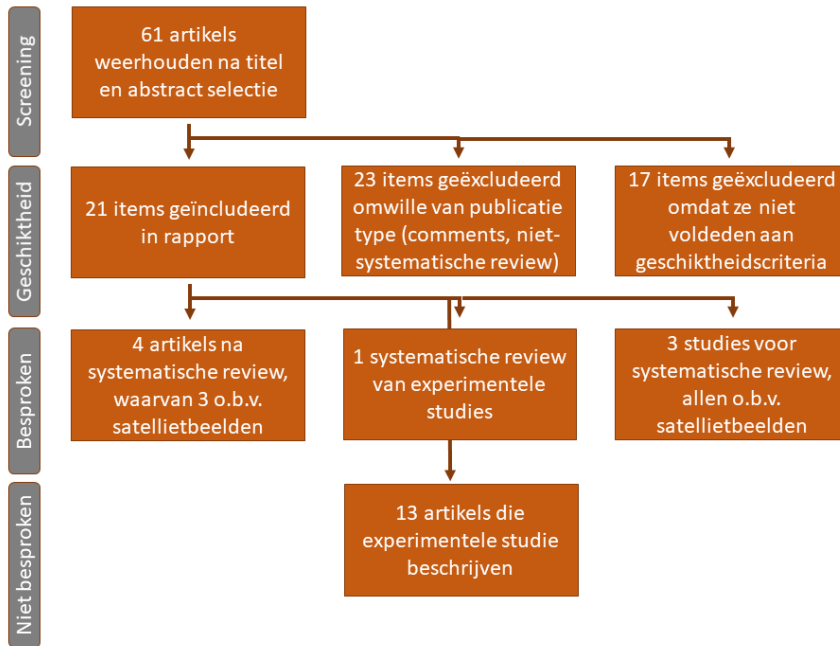
##### 4.1.1.1. Resultaat studie selectie

Op basis van de geschiktheidscriteria beschreven in de methodologie, weerhielden we 61 items die handelden over circadiaans ritme en slaap na de titel en abstract selectie. Dit aantal werd verder gereduceerd tot 21 items na het bekijken van de volledige tekst (23 items bestonden uit een commentaar of een niet-systematische review, 17 items bleken bij het lezen van de volledige tekst toch niet te voldoen aan de geschiktheidscriteria).

Eén van de 21 geselecteerde items was een systematische review van experimentele studies over het effect van lichtblootstelling op het circadiaans ritme en de slaap, zonder meta-analyse. Deze systematische review bekeek 128 experimentele studies. Met de zoekopdracht beschreven in de methodologie van dit rapport vonden we 13 van zulke experimentele studies, die we hier niet in detail bespreken omwille van het bestaan van de systematische review.

Van de overige 8 artikels was er 1 systematische review en werden er 3 artikels gepubliceerd vóór de systematische review en 4 na de systematische review. Zes daarvan gebruikten satellietbeelden om de blootstelling aan NBV te meten. We bespreken deze 6 studies daarom samen in alinea 4.1.1.3.

Figuur 11 geeft de studieselectie weer in een flow diagram.



**Figuur 11** Flow diagram studieselectie relatie NBV met circadiaans ritme en slaap

#### 4.1.1.2. Resultaten systematische review

In de tekst box hieronder worden de belangrijkste gegevens van de systematische review van Tähkämö et al. (2019) beschreven. Daarbij werden peer-reviewed experimentele studies gezocht over lichtgeïnduceerde verstoring van het circadiaans ritme. Deze review gaat niet specifiek over NBV, maar over de effecten van licht in het algemeen op het circadiaans ritme. We nemen de resultaten van de systematische review toch mee in dit overzicht, omdat deze ook implicaties hebben op de relatie met NBV. Een kanttekening is de kwaliteit van de systematische review. Er wordt een beschrijving gedaan van een groot aantal studies, maar omwille van de grote diversiteit aan onderzoeksvragen en methodologie is er geen meta-analyse beschikbaar. Het is ook niet duidelijk hoe met inconsistente resultaten werd omgegaan, en er werden geen erkende kwaliteitsrichtlijnen gebruikt.

**Titel:** Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm.

**Auteurs (publicatiejaar); tijdschrift:** Tähkämö L., Partonen T. & Pesonen A (2019); Chronobiology International. Doi: 10.1080/07420528.2018.1527773.

**Kwaliteit van de studie:** geen erkende richtlijnen gebruikt.

**Zoekopdracht:** 1 november 2017; in Web of Science, PubMed, Scopus en ProQuest databank.

**Zoekterm:** ("light exposure" OR "artificial light") and ("circadian " AND "melatonin" OR "REM sleep").

**Studieselectiecriteria:** wetenschappelijke artikels (exclusie conferentie artikels en boekhoofdstukken), artikels die originele experimentele studie weergeven (exclusie reviews), studies op gezonde mensen (exclusie experimenten bij patiënten en bij dieren), niveau van lichtblootstelling gemeten, in het Engels, meting van melatonine of REM slaap of beide.

**Geïnccludeerde individuele studies:**

128 studies voldeden aan de studieselectiecriteria, zie referentielijst van Tähkämö et al. (2019) voor meer details.

**Resultaten:**

- 's Nachts wordt normaal gezien melatonine uitgescheiden door de hersenen. Er zijn individuele verschillen in hoeveelheid melatonine uitscheiding en de beïnvloeding ervan door licht tijdens de nacht, maar er worden wel patronen gezien naargelang leeftijd en geslacht.

- Nachtelijke blootstelling aan licht **onderdrukt** de hoeveelheid melatonine (m.n. lagere **melatoninepiek** gemeten in plasma) op een bestralingssterkte-afhankelijke wijze: een lage bestralingssterkte geeft weinig melatonine onderdrukking, terwijl een hoge bestralingssterkte veel melatonine onderdrukking geeft (maximum bestralingssterkte in dit experiment:  $65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

- Blauw licht met korte golflengtes zorgt reeds bij een lage bestralingssterkte voor een statistisch significante melatonine vermindering (bv. golflengte 472 heeft slechts een bestralingssterkte van  $1.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  nodig om reeds een onderdrukkend effect te hebben op melatonine). Voor langere golflengtes is een hogere bestralingssterkte nodig (bv. groen licht met golflengtes 520 of 548 nm hebben pas een significante melatonine vermindering vanaf een bestralingssterkte rond de  $7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ).

- Bij blootstelling aan blauw en groen licht 's avonds wordt melatonine secretie onderdrukt én start de melatonine curve later (**fase-shift**). Maar ook licht met lange golflengtes, bv. rood licht met een golflengte van 631 nm, kan een fase-shift in het circadiaans ritme van melatonine veroorzaken, ook al is het onderdrukkend effect op het melatonine niveau minder sterk.

- Na stopzetting van de avondlijke of nachtelijke lichtblootstelling blijven melatonine niveaus maximaal onderdrukt voor 15 minuten, daarna herstellen ze in nog eens 15 minuten.

- Blootstelling aan licht tijdens het slapen met gesloten ogen, zorgt voor meer ondiepe slaap en REM slaap, en dit reeds bij verlichtingssterktes van slechts 5 lux. Ook met gesloten ogen kan blootstelling aan licht melatonine onderdrukken en voor een fase-shift zorgen.

- Bij oudere leeftijd wordt er minder melatonine secretie waargenomen, en ook licht-geïnduceerde melatonine onderdrukking is minder sterk. Echter, licht-geïnduceerde vervroeging van het circadiaans ritme verandert niet met de leeftijd.

- Niet de kegeltjes en staafjes die zorgen voor visuele respons, maar een ander ftopigment in het netvlies van het oog, met een gevoeligheid die piekt voor golflengtes tussen 446 en 447 nm, is verantwoordelijk voor de melatonine respons op licht.

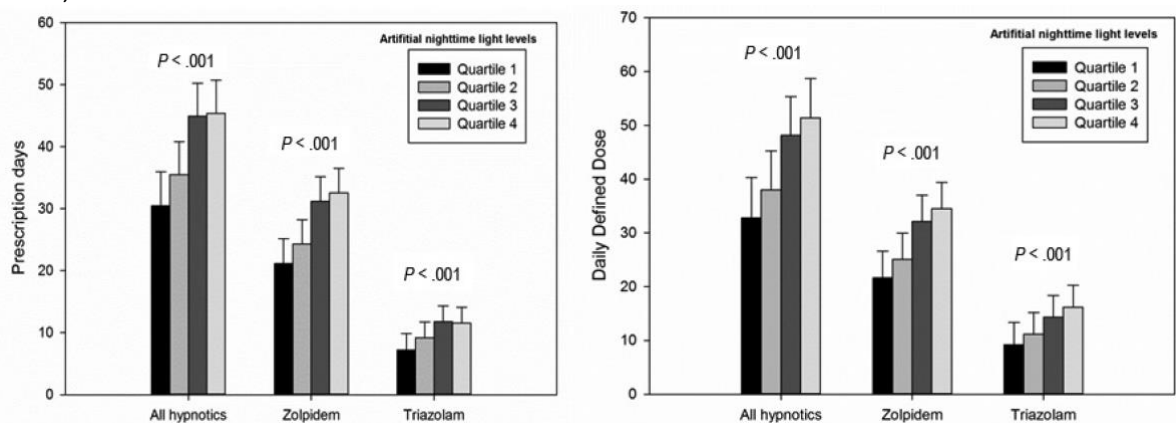
**Betekenis:** deze systematische review beschrijft individuele experimentele studies met uiteenlopende onderzoeksvragen. Er is dan ook geen meta-analyse gedaan. Inconsistenties worden niet beschreven. De sterkte van bewijskracht van de resultaten is daarom onduidelijk.

#### 4.1.1.3. Resultaten andere artikels

De artikels van Koo et al. (2016), Ohayon en Milesi (2016) en Hurley et al. (2013) werden vroeger gepubliceerd dan de systematische doorzoeking van Tähkämö et al. (2019) (zie 4.1.1.2). Omdat ze observationele studies beschrijven en geen experimenten, werden ze niet opgenomen in de systematische review. De studies van Min en Min (2018b), Patel (2019), Xiao, Gee, et al. (2020) en Coogan et al. (2020) werden recenter gepubliceerd dan de systematische review.

We bespreken eerst alle artikels die blootstelling aan NBV gemeten hebben met **satellietbeelden**. De studies van Koo et al. (2016), Min en Min (2018b) en Patel (2019) koppelden de mate van NBV niet aan gezondheid op niveau van het thuisadres. De koppeling gebeurde op basis van een gemiddelde NBV van een heel gebied (Min en Min (2018b): 'administratief district'; Patel (2019): in één analyse 'statistical area', in een andere analyse county's; Koo et al. (2016): 'administratief district'). Er kan dus een misclassificatie zijn van blootstelling aan NBV bij deelnemers die in delen van het gebied wonen die meer of minder blootgesteld zijn aan NBV dan gemiddeld. In de studies van Hurley et al. (2013), Ohayon en Milesi (2016) en Xiao, Gee, et al. (2020) werd NBV wel berekend op het thuisadres, wat een sterkere methodologie is.

- Het artikel van Min en Min (2018b) bestudeerde een grote cohorte 60-jarigen of ouder uit Zuid-Korea (n=52.027). Ze gebruikten satellietbeelden verkregen via het National Centers for Environmental Information van Zuid-Korea. Ze vonden dat hogere blootstelling aan NBV tijdens de periode 2002-2013 geassocieerd was met een significant hogere prevalentie van **voorschriften voor slaapmedicatie** en een hogere **voorgeschreven dagelijkse dosis** tussen 2006 en 2013. De analyses werden gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, stedelijk of niet stedelijk wonen, inkomen, body mass index (BMI), fysieke activiteit, roken, alcohol, en de aanwezigheid van psychiatrische ziekten. Figuur 12 toont het gemiddelde, gecorrigeerd voor bovenstaande factoren, per kwartiel voor aantal dagen dat slaapmedicatie voorgeschreven werd en voor dagelijkse dosis. De bestralingssterkte per stralingshoek (in nanoWatts/cm<sup>2</sup>/sr) is als volgt: kwartiel 1 ≤22,05; kwartiel 2 22,06 tot 45,37; kwartiel 3 45,38 tot 61,60 en kwartiel 4 ≥61,61.



**Figuur 12 Gecorrigeerde gemiddelden (m.n. 'least square means') voor het aantal dagen met voorschrift voor slaapmedicatie (links) en voor dagelijks voorgeschreven dosis (rechts) per kwartiel NBV.**

Nota: Least square means werden berekend na correctie voor leeftijd, geslacht, stedelijk of niet stedelijk wonen, inkomen, BMI, fysieke activiteit, roken, alcohol en de aanwezigheid van psychiatrische ziekten. De centrale lijn bovenop elke staaf duidt de standaardfout op het gecorrigeerde gemiddelde aan. De waarden van kwartiel 2 tot 4 zijn significant hoger dan die van kwartiel 1.

- De cross-sectionele studie van Patel (2019) in een erg grote groep deelnemers (n=282.403; leeftijd onbekend) vond een significante vermindering van zelf-gerapporteerde **slaapduur**, geschat op 5,65 minuten per dag bij toename van NBV met 10 units bestralingssterkte per stralingshoek (in nanoWatt/cm<sup>2</sup>/sr). De studie gebruikte satellietbeelden van de Visible

Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). De analyse was gecorrigeerd voor landoppervlakte en wateroppervlakte per gebied, latitude en longitude, zelf-gerapporteerde algemene gezondheid, geslacht, burgerlijke status, educatieniveau, beroepsstatus, inkomen, gewicht en jaartal (bevraging in 2014 en 2016).

- Koo et al. (2016) bevroegen voor een cross-sectionele studie een groep van 8.526 volwassenen tussen 39 en 70 jaar uit Zuid-Korea. De studie gebruikte satellietbeelden van de U.S. Defense Meteorological Satellite Program (DMSP). Ze deelden blootstelling aan NBV op in twee groepen, maar de maat voor NBV had geen eenheden waardoor we de mate van bestralingssterkte hier niet kunnen beschrijven. Ze vonden dat volwassenen uit regio's met de hoogste graad van NBV ten opzichte van de laagste een significant hogere waarschijnlijkheid hadden op:
  - een **verlaat slaappatroon** (OR=1,78; 95% BI=1,51-2,09);
  - een **korte slaapduur** (OR=1,22; 95% BI=1,06-1,41);
  - moeilijkheden om **in slaap** te vallen (OR=1,34; 95% BI=1,14-1,57);
  - moeilijkheden om te **blijven slapen** (OR=1,31; 95% BI=1,14-1,50);
  - **bependingen overdag** door slapeloosheid (OR=1,43; 95% BI=1,25-1,62);
  - **snurken** (OR=1,40; 95% BI=1,17-1,67).

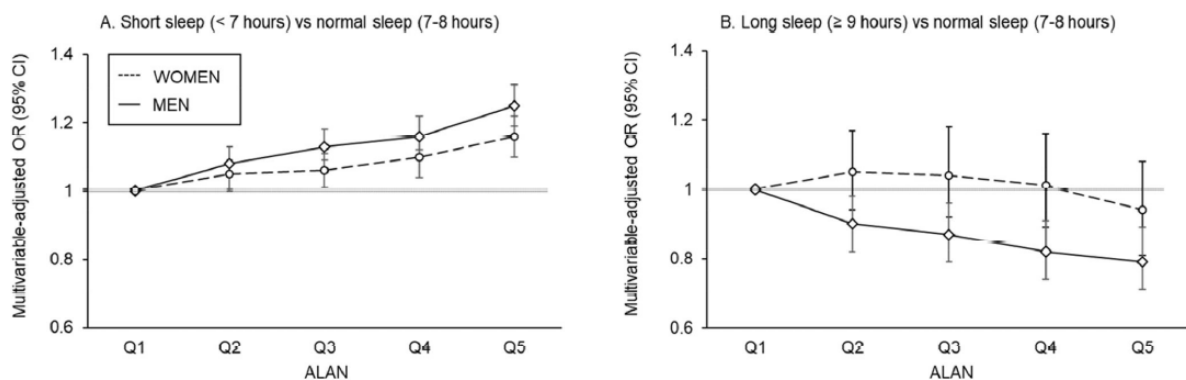
Er was geen significant verband voor niet-restauratieve slaap en vroeg wakker worden 's ochtends, vermoedelijk omdat het werkritme voor een deel van de studiepoulatie het tijdstip van opstaan bepaalt. De analyses werden gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht, educatieniveau, soort residentieel gebouw, inkomen, alcohol, roken, cafeïne-gebruik, depressie en obesitas.

- De studie van Hurley et al. (2013) gebeurde op de kleinste studiepoulatie (n=303). Ze vonden geen significant verband tussen NBV, gemeten via satellietbeelden van de DMSP, en **urinaire 6-sulftoxymelatonine**, gemeten op basis van een 24-uurs urinecollectie. Echter, in experimentele studies wordt het melatonine niveau meestal gemeten via speeksel of bloed op verschillende tijdstippen gedurende de nacht, in plaats van in urine van de voorbije 24u.
- Ohayon en Milesi (2016) bevroegen via een telefonisch interview een grote studiepoulatie (n=15.863) met een leeftijd vanaf 18 jaar. Ze vonden een **significant verband tussen hogere NBV, gemeten via satellietbeelden van de DMSP, en het rapporteren van een te lichte slaapkamer** (t=-7,974; p<0,0001). Verder was hogere NBV geassocieerd met:
  - later **tijdstip gaan slapen** (OR=1,16; 95% BI=1,11-1,21);
  - later **tijdstip opstaan** (OR=1,07; 95% BI=1,02-1,11);
  - kortere **slaapduur** (OR=1,06; 95% BI=1,02-1,10);
  - verhoogd risico op **ongenoegen over slaapkwaliteit en/of -kwantiteit** (OR=1,05; 95% BI=1,02-1,09);
  - verhoogd risico op **circadiaans ritme stoornis** (OR=1,28; 95%BI=1,11-1,48);
  - verhoogd risico op **verwarde onrustige fases tijdens het slapen** (OR=1,07; 95% BI=1,02-1,12);
  - verhoogd risico op **excessieve slaperigheid overdag** (OR=1,20; 95%BI=1,12-1,29);
  - geen verhoogd risico op **DSM-5 diagnoses voor slapeloosheid**;
  - geen verhoogd risico op **slaap gerelateerde ademhalingsstoornissen**;
  - geen verhoogd risico op **rusteloze benen syndroom**.

De sterkte van de studie is dat ze de analyses corrigeerde voor heel wat slaap-gerelateerde individuele parameters, m.n. leeftijd, samenwonen met kinderen waarbij rekening gehouden wordt met de leeftijd van de kinderen, beroepsstatus, slapen met het licht aan, slapen in een te lichte slaapkamer, plaats van slapen, geluidsniveau in de slaapruijnte en tv kijken in bed. Ook corrigeerden ze de analyses voor bevolkingsdichtheid, en vonden ze dat NBV belangrijker was in het verklaren van de bovengenoemde slaapparameters dan bevolkingsdichtheid (die zelfs niet statistisch significant was). De analyses werden niet gecorrigeerd voor

leefstijlfactoren zoals alcohol- en cafeïne-gebruik, totale schermtijd voor het slapengaan of het gebruik van (verduisterende) gordijnen of een slaapmasker. De berekende maat voor NBV heeft geen eenheden, waardoor we hier geen informatie kunnen geven over lichtintensiteit.

- De studie van Xiao, Gee, et al. (2020) bevroeg de **slaapduur** bij een heel grote groep 50-71 jarigen uit de Verenigde Staten (n=333.365). NBV werd berekend aan de hand van satellietbeelden van de DMSP en opgedeeld in kwintielen. De gemiddelde bestralingssterkte per stralingshoek (in nanoWatt/cm<sup>2</sup>/sr) was: kwintiel 1=4,3; kwintiel 2=12,6; kwintiel 3=62,3; kwintiel 4=43,0 en kwintiel 5=78,2. Figuur 13 toont de OR van kortere slaapduur (6 uur of minder) ten opzichte van normale slaap (7 tot 8 uur) bij mannen en vrouwen per kwintiel van NBV. Ze vonden een significant hogere waarschijnlijkheid op kortere slaapduur bij deelnemers die op een adres woonden in kwintiel 2 tot 5 van NBV in vergelijking met kwintiel 1 van NBV; de waarschijnlijkheid op kortere slaapduur steeg verder bij elke hoger kwintiel van NBV. Ze vonden ook dat het verband tussen NBV en slaapduur **sterker** was in regio's met een **hogere armoederatio**. Verder hadden mannen een significant lagere waarschijnlijkheid op een langdurige slaap (9 uur of meer) ten opzichte van een normale slaap bij blootstelling aan NBV in kwintiel 2 tot 5 in vergelijking met kwintiel 1. Ze corrigeerden de analyses voor de meeste relevante factoren; enkele belangrijke correctiefactoren ontbraken in deze studie, zoals geluids- en lichtniveau in de slaapkamer, werkritme en het hebben van kleine kinderen.



**Figuur 13** Associatie tussen NBV en slaapduur bij mannen en vrouwen in de 'NIH-AARP Diet and Health Study'.

*Nota: OR= odds ratio. ALAN=NBV. Q=kwintiel. Het model werd gecontroleerd voor de individuele variabelen 'leeftijd, ras, burgerlijke status, staat in de Verenigde Staten, roken, alcoholgebruik, hoog intensief bewegen, TV kijken' en de gebiedsvariabelen 'mediane waarde van huizen, bevolkingsdichtheid en armoede ratio'. Figuur uit Xiao, Gee, et al. (2020).*

Het artikel van Coogan et al. (2020) gebruikte **geen satellietbeelden**. Het beschrijft een niet-representatieve bevraging naar perceptie van NBV bij 464 respondenten, uitgestuurd via een Ierse krant. Op de stelling 'Als licht binnen schijnt in mijn slaapkamer 's nachts, dan heeft dat geen impact op mijn slaap', antwoorden de meesten 'oneens', waarbij een significant groter aandeel mensen op het platteland het oneens was dan uit stedelijk gebied.

#### 4.1.2. Bespreking

Licht heeft een effect op onze interne klok, die de dagelijks terugkerende fysiologische functies regelt, zoals het hormoon melatonine waarvan de concentraties stijgen gedurende de avond en de nacht en laag zijn vanaf de vroege ochtend. Het **natuurlijke dag-nacht ritme van licht zorgt dat de interne klok gesynchroniseerd is** met de omgeving. Deze literatuurstudie rond artificeel licht 's nachts vindt heel wat studies die associaties bestuderen met melatonineniveaus en slaap bij mensen. De studies hebben een verschillende opzet en bestuderen verschillende gezondheidseindpunten, waardoor een meta-

analyse die al de studies overschouwt niet mogelijk is. Veel van de beschreven gezondheidseindpunten vonden we maar in een enkele studie terug, en de resultaten werden dus niet bevestigd door andere studies. Maar de **veelheid aan verschillende gegevens toont wel een duidelijk verband tussen artificeel binnen- en buitenlicht 's nachts en een verstoord dag-nacht ritme van melatonine en slaappatroon.**

De gevonden systematische review van experimentele studies over artificeel nachtelijk licht in het algemeen (dus binnen en buiten), besluit dat nachtelijke blootstelling aan licht de hoeveelheid **melatonine** in het lichaam **onderdrukt**. Melatonine is één van de hormonen die een circadiaans ritme volgt. De hoeveelheid melatonine stijgt normaal 's avonds en zorgt dat we voelen dat het tijd is om te gaan slapen. De concentraties pieken tijdens de nacht, en dragen bij aan een goede nachtrust (zie Figuur 10). Verder concludeert de systematische review dat de lichtintensiteit en het spectrum van het licht de sterkte van melatonine onderdrukking bepalen. Zo kan licht bestaande uit korte golflengtes uit het **blauwe spectrum al met een lage lichtintensiteit** een significante melatonine onderdrukking uitlokken (bv. golflengte 472 heeft slechts een bestralingssterkte van  $1.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  nodig). Voor **langere golflengtes** is een **hogere bestralingssterkte** nodig (bv. groen licht met golflengtes 520 of 548 nm hebben pas een significante melatonine vermindering vanaf een bestralingssterkte rond de  $7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). Voor zowel het voorbeeld van korte als van lange golflengtes geldt dat als de bestralingssterkte hoger is dan het beschreven minimum, ook het onderdrukkend effect op de hoeveelheid melatonine in het lichaam hoger is. Daarnaast stelt de systematische review dat los van het onderdrukkend effect van melatonine, licht uit het hele visuele spectrum ervoor kan zorgen dat de start van melatonine uitscheiding 's avonds later wordt ingezet (**fase-shift** genoemd), waardoor we pas later voelen dat het tijd is om te gaan slapen. Ook met **gesloten ogen** zou licht melatonine kunnen onderdrukken. Dus een verlichte slaapkamer tijdens het slapen (door binnen of buiten licht) heeft ook impact op de melatonine niveaus. Daarnaast zijn de effecten van licht in de slaapkamer ook op slaap te zien: al reeds **vanaf** verlichtingssterktes van **5 lux** zou er meer **ondiepe slaap en REM slaap** te zien zijn. Een verlichtingsarmatuur die toelaat dat het licht een slaapkamerraam binnen schijnt, kan zo rechtstreeks een effect hebben op de slaapkwaliteit.

Verder concludeerde de systematische review dat de effecten van licht op het dag-nacht ritme niet lopen via de kegeltjes en staafjes in het netvlies van het menselijk oog. De kegeltjes en staafjes zijn fotoreceptoren die zorgen voor de visuele respons (het zien van beelden). Het is een ander fotopigment in het netvlies dat verantwoordelijk is voor het doorgeven van signalen over licht en donker. In beschrijvende reviews wordt dit fotopigment 'melanopsine' genoemd. Dit pigment is het meest gevoelig voor licht uit het blauwe deel van het spectrum (m.n. golflengtes tussen 400 en 500nm, met een piek gevoeligheid tussen 446 en 447 nm). Op die manier is blauw licht fundamenteel in het instellen van de biologische klok (Tähkämö et al., 2019; Touitou & Point, 2020). Dit is logisch gezien in daglicht het blauwe deel van het spectrum dominant is. Het licht dat de maan 's nachts uitzendt bevat amper licht uit het blauwe spectrum (zie de gezamenlijke introductie, figuur 4).

De 4 artikels die gebruik maken van een bevraging voor slaapparameters en satellietbeelden om NBV te meten, vinden allemaal significante verbanden tussen hogere NBV in de woonomgeving van deelnemers en verstoring van slaapparameters bij deze deelnemers. Van deze artikels vonden er 4 een significant hogere waarschijnlijkheid op verkorte slaapduur, 2 op later gaan slapen, en de andere slaapparameters werden telkens slechts in 1 studie onderzocht (significant hogere waarschijnlijkheid op later opstaan, ongenoegen over slaapkwaliteit en/of -kwantiteit, circadiaans ritme stoornis, verwarde onrustige fases tijdens het slapen, excessieve slaperigheid overdag, moeilijkheden met in slaap vallen, moeilijkheden met blijven slapen, beperkingen overdag door slapeloosheid, snurken). De studie van Min en Min (2018b) linkte NBV gemeten via satellietbeelden aan gegevens op basis van voorschriften voor slaapmedicatie. Ook zij vonden significante verbanden tussen hogere NBV en aantal dagen met een voorschrift voor slaapmedicatie en dagelijkse dosis van voorgeschreven slaapmedicatie.

Het onderzoek van Hurley et al. (2013) linkte NBV gemeten via satellietbeelden aan een biomerker. Ze gebruikten een meting van melatonine in urinecollectie over 24-uur, terwijl melatonine meestal gemeten wordt via speeksel of bloed op verschillende tijdstippen gedurende de nacht. Deze studie is de enige studie die geen verband kan weerhouden tussen NBV en de gemeten biomerker.

Er zijn een aantal bedenkingen bij deze bevindingen:

- De 6 artikels op basis van satellietbeelden kunnen niet beschouwd worden als bewijzen voor een oorzakelijke verband tussen nachtelijke buitenverlichting en verstoring van het melatonine- en slaappatroon. Blootstelling aan hoge NBV gaat vaak samen met andere omgevingsfactoren, bv. verstedelijking, geluidsoverlast van verkeer, luchtvervuiling, weinig natuur in de omgeving of veel economische activiteit. Verder zou hoge NBV ook kunnen samengaan met specifieke leefstijlfactoren zoals alcoholgebruik, meer activiteiten op locatie 's avonds of 's nachts en schermgebruik. De opgesomde omgevings- en leefstijlfactoren vormen mogelijks zelf een risico op verstoring van het melatonine- en slaappatroon. De studies controleren het verband tussen NBV en slaap wel voor heel wat van deze factoren, maar niet voor alle factoren. Het niet controleren voor omgevingsfactoren die samenhangen met NBV kan maken dat het gevonden verband in werkelijkheid niet aanwezig is: het gevonden verband kan te verklaren zijn door een verband met één of meerdere van de andere omgevingsfactoren. Anderzijds houden de twee studies met het grootst aantal deelnemers wel rekening met heel wat individuele parameters en met verstedelijkingsgraad, een parameter die vaak samenhangt met andere omgevingsfactoren (Ohayon & Milesi, 2016; Xiao, Gee, et al., 2020). De studie van Ohayon en Milesi (2016) vond zelfs dat bevolkingsdichtheid minder van belang was en zelfs niet statistisch significant in het verklaren van de slaapparameters ten opzichte van NBV. Daarnaast ondersteunen de experimentele studies rond licht-geïnduceerde verstoring van melatonine en slaap, beschreven in de systematische review, de hypothese dat NBV waar men aan blootgesteld wordt één van de oorzaken kan zijn van verstoring van het melatonine- en slaappatroon.
- Een limitatie van de studies die NBV meten op basis van satellietbeelden is dat ze niet corrigeren voor blootstelling aan verlichting van binnenruimtes en van beeldschermen, die mogelijks dominantere verlichtingsbronnen zijn dan buitenverlichting. Toch worden er in 5 studies verbanden weerhouden, en men verwacht dat de effecten enkel duidelijker zouden zijn als er wel gecorrigeerd zou worden voor blootstelling binnen (Xiao, Gee, et al., 2020). Deze hypothese zou in de toekomst onderzocht en onderbouwd moeten worden.
- De 6 artikels keken niet specifiek naar NBV in het blauwe spectrum maar gebruikten één maat onafhankelijk van het spectrum van verlichting, terwijl het pigment dat instaat voor het circadiaans ritme net het gevoeligst is voor dit spectrum.

De resultaten in het artikel van Coogan et al. (2020), dat perceptie bevroeg bij lezers van een krant, tonen dat een hoog percentage van de deelnemers zelf een verband percipiëren tussen licht dat hun kamer binnen schijnt en negatieve impact op hun slaap. Dat maakt ook dat mensen opties gebruiken om de slaapruijme te verduisteren of zonder impact van licht in de slaapruijme te kunnen slapen, zoals gordijnen, rolluiken en slaapmaskers. Een limitatie van de studies die NBV meten via satellietbeelden is dat ze niet corrigeren voor deze opties. Het is onduidelijk hoeveel licht van buiten ook werkelijk in huis binnenvalt. De studie van Xiao, Gee, et al. (2020) vond dat het verband tussen NBV en kortere slaapduur sterker was in regio's met een hogere armoederatio. Eén van de hypothesen van de auteurs om deze bevinding te verklaren is dat mensen in hogere armoede geen middelen hebben om deftige verduisterende oplossingen te voorzien. Zij zouden zo dus meer in contact komen met NBV wanneer ze in hun woning en slaapruijme zijn. Deze hypothese dient verder onderzocht te worden, want ook andere zaken zoals meer stress bij mensen in hogere armoede kunnen aan de basis liggen van de kortere slaapduur.



## 4.2. Relatie NBV met het voorkomen van kanker

In het kort:

- Bij een hogere graad van NBV in het visuele spectrum rond de woonplaats, gemeten vanuit de ruimte, ziet men een hogere waarschijnlijkheid op borstkanker. Er zijn aanwijzingen dat dit verband sterker is als men enkel NBV uit het blauwe spectrum meet.
- Voor prostaat­kanker en dikke darm kanker is er enkel beperkte evidentie van een hogere waarschijnlijkheid bij een hogere graad van NBV in het blauwe spectrum rond de woonplaats.
- De studieopzet van de besproken studies is niet geschikt om een oorzakelijk verband aan te tonen. De bevindingen worden wel ondersteund door de conclusie van studiewerk van het IARC op basis van experimenten bij dieren, m.n. dat veranderingen in het licht-donker schema kankerverwekkend zijn.

Omdat er voor borstkanker heel wat artikels gevonden werden, inclusief twee systematische reviews, splitsen we dit hoofdstuk op. Het eerste deel handelt over borstkanker, het tweede deel over andere kankertypes, voornamelijk prostaat­kanker, dikke darm kanker en Non Hodgkin lymfoom. Daarna volgt een gezamenlijke bespreking.

Borst­kanker is de meest gediagnosticeerde kanker voor vrouwen, zowel in België als wereldwijd, gevolgd door dikke darm kanker (10.493 en 3.330 nieuwe diagnoses in 2020, respectievelijk). Non Hodgkin lymfoom komt minder frequent voor, maar staat toch nog op de vijfde plaats van meest frequente kankerdiagnoses bij vrouwen (901 nieuwe diagnoses in 2020). Bij mannen is prostaat­kanker de meest gediagnosticeerde kanker in België, dikke darm kanker staat op de derde plaats in de ranking, en Non Hodgkin lymfoom op de 9<sup>e</sup> plaats (9.706, 3.983 en 1.146 nieuwe diagnoses in 2020, respectievelijk). Borstkanker zorgt ook voor het grootste aandeel van sterfte door kanker bij vrouwen; voor mannen is dit longkanker, gevolgd door prostaat­kanker en dikke darm kanker (Belgian Cancer Registry — Tabellen Op Jaarbasis, zonder datum; “Cancer Burden in Belgium 2004-2017”, 2020). Dat maakt dat zowel onderzoek naar risicofactoren voor o.a. borstkanker, prostaat­kanker en dikke darm kanker als preventie van de risico’s van groot maatschappelijk belang is.

### 4.2.1. Resultaat literatuurstudie borstkanker

#### 4.2.1.1. Resultaat studie selectie

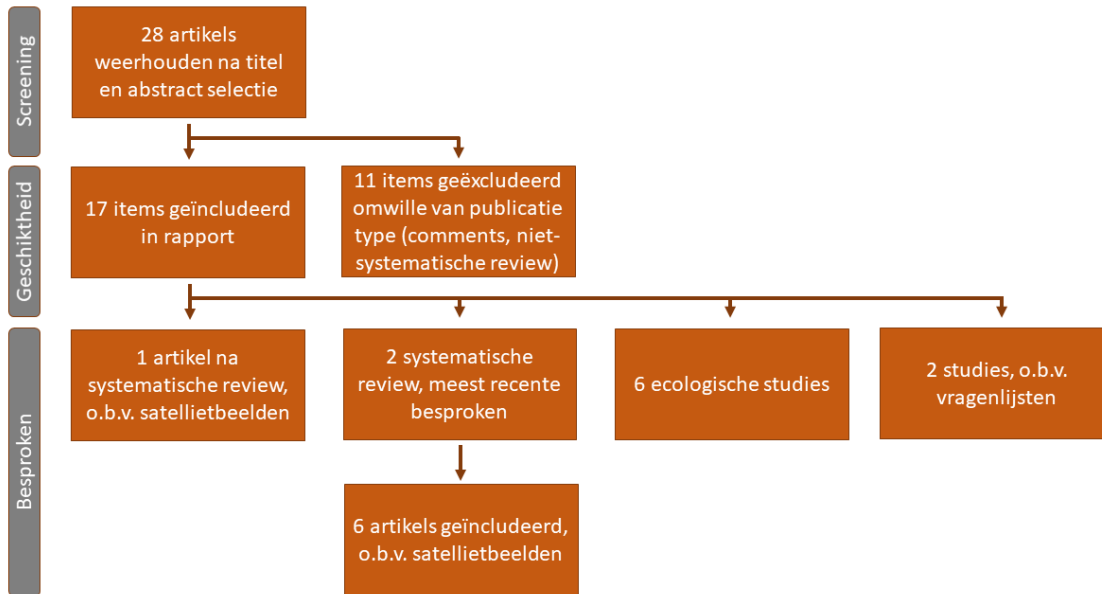
Op basis van de geschiktheids­criteria beschreven in de methodologie, weerhielden we 28 items die handelden over borstkanker na de titel en abstract selectie. Dit aantal werd verder gereduceerd tot 17 items na het bekijken van de volledige tekst (11 items bestonden uit een commentaar of een niet-systematische review).

Twee van de 17 artikels waren systematische reviews inclusief meta-analyse. Beide namen ze enkel artikels over bloot­stelling aan NBV in beschouwing die gebruik maakten van satelliet data. De systematische review van Lai et al. (2021) includeerde 5 artikels over NBV in de meta-analyse, die van Wu et al. (2021) includeerde dezelfde 5 artikels en een recenter 6<sup>e</sup> artikel in de meta-analyse. Daarom bespreken we in het kader in paragraaf 4.2.1.2 de resultaten volgens Wu et al. (2021), aangezien dit de meest volledige systematische review is op het moment van de zoekopdracht. Indien er in één van de 6 artikels of in de systematische review van Lai et al. (2021) andere resultaten aan bod komen, halen we die onder het kader kort aan.

Eén van de 17 artikels werd gepubliceerd na de zoekopdracht van de systematische review van Wu et al. (2021). Dat artikel van Clarke et al. (2021) wordt beschreven in paragraaf 4.2.1.3.

De 8 andere artikels werden gepubliceerd vóór de systematische review, maar werden er niet in opgenomen omdat ze ofwel vragenlijsten gebruikten om NBV te meten, ofwel een ecologisch studie design hadden. Ze worden kort aangehaald in paragraaf 4.2.1.4.

Figuur 14 geeft de studietoets selectie weer in een flow diagram.



**Figuur 14** Flow diagram studieselectie voor borstkanker

#### 4.2.1.2. Resultaten systematische review

In het kader hieronder worden de belangrijkste gegevens van de systematische review van Wu et al. (2021) beschreven.

**Titel:** Exposure to outdoor light at night and risk of breast cancer: A systematic review and meta-analysis of observational studies.

**Auteurs (publicatiejaar); tijdschrift:** Wu Y, Gui S-Y, Fang Y, Zhang M, Hu C-Y (2021); Environmental Pollution. Doi: 10.1016/j.envpol.2020.116114.

**Kwaliteit van de studie:** richtlijn NTP/OHAT voor literatuur-gebaseerde gezondheidsbeoordeling gevolgd; GRADE benadering voor beoordeling kwaliteit individuele studies; PRISMA om studieresultaten weer te geven.

**Zoekopdracht:** augustus 2020; in Web of Science, PubMed en EMBASE databank.

**Zoekterm:** (“light” OR “light at night”) and (“breast cancer” OR “breast neoplasms”).

**Studieselectie volgens PECOS:**

Populatie: vrouwen

Blootstelling (=Exposure): NBV gemeten aan de hand van beelden vanuit de ruimte

Vergeleken met (=Comparators): blootstelling aan lagere niveau's van NBV

Uitkomst (=Outcomes): incidentie of prevalentie van borstkanker

Studies: cross-sectionele, cohort en case-control studies bij mensen, met beschikbaarheid van kwantitatieve effect schattingen en 95% BI

**Geïnccludeerde individuele studies:** Bauer et al. (2013) (34.053 cases en 14.458 longkanker patiënten als controle), Hurley et al. (2014) (n=106.731), James et al. (2017) (n=109.672), Garcia-Saenz et al. (2018) (1.219 cases en 1.385 controles), Ritonja et al. (2020) (1.003 cases en 1.015 controles), Xiao, James, et al., (2020) (n=186.981)

**Resultaten:**

Studie kenmerken: 3 case-control en 3 cohort studies

Meta-analyse:

OR borstkanker risico bij blootstelling aan de hoogste categorie NBV t.o.v. de laagste categorie in totale groep is 1,11 (95% BI = 1,06; 1,16), en dus significant.

OR borstkanker risico bij blootstelling aan de hoogste categorie NBV t.o.v. de laagste categorie bij postmenopauzale vrouwen is 1,07 (95% BI = 1,00; 1,13), en dus significant.

OR borstkanker risico bij blootstelling aan de hoogste categorie NBV t.o.v. de laagste categorie bij premenopauzale vrouwen is 1,15 (95% BI = 0,92; 1,42), en dus niet significant.

Publicatie bias: mogelijke publicatie bias, maar niet accuraat in te schatten omwille van klein aantal geïnccludeerde studies.

Niveau van epidemiologisch bewijs voor de associatie: matig

**Betekenis:** Er is epidemiologisch bewijs met matige bewijskracht dat bij blootstelling aan de hoogste ten opzichte van de laagste categorie NBV gemeten met satellietbeelden, het voorkomen van borstkanker in de totale onderzochte studiegroep 6 tot 16% waarschijnlijker is. Bij opsplitsen van de studiegroep volgens menopauzale status, is de associatie enkel statistisch bewezen in de groep postmenopauzale vrouwen.

In de systematische review van Lai et al. (2021) werd een andere parameter berekend voor de inschatting van het relatieve risico, m.n. de Summary Relative Risk (SRR). Men vond een 12% hoger risico bij blootstelling aan de hoogste ten opzichte van de laagste categorie NBV gemeten met satellietbeelden (SRR=1,12; 95% BI=1,06-1,18). Er werd een subgroep analyse gedaan voor tumortype. Ze vonden dat de positieve associatie tussen NBV en het voorkomen van borstkanker sterker was wanneer ze enkel vrouwen met oestrogeen receptor positieve tumoren includeerden. Wanneer ze enkel vrouwen met oestrogeen receptor negatieve tumoren bekeken, was de associatie niet meer statistisch significant. Dit resultaat werd bevestigd door de studie van Xiao, James, et al. (2020), die

later gepubliceerd werd dan de zoekopdracht van de systematische review van Lai et al. (2021) maar wel geïncludeerd is in de systematische review van Wu et al. (2021).

De meeste studies opgenomen in de systematische reviews maken geen onderscheid naargelang het spectrum van licht. Dit wordt wel gedaan in de studie van Garcia-Saenz et al. (2018). Zij vonden geen significant verband tussen totale visuele NBV en borstkanker, wat mogelijk kan worden verklaard door de kleine studiepoppulatie (n=2.604) in vergelijking met de andere studies. Daarentegen vonden ze wel dat bij het hoogste tertiel van blootstelling aan NBV ten opzichte van het laagste in het blauwe spectrum, het voorkomen van borstkanker 47% waarschijnlijker was (OR=1,47; 95% BI=1,00-2,17). Voor meer informatie over de individuele studies opgenomen in de systematische review, verwijzen we naar tabel 1 in het artikel van Wu et al. (2021); echter, hierin ontbreekt systematische informatie over lichtintensiteit. In Tabel 3 in dit rapport hebben we daarom zelf een overzicht gemaakt van de resultaten inclusief de lichtintensiteit per studie uit de systematische review.

**Tabel 3 Overzicht van resultaten per studie rond borstkanker, met specifieke vermelding van bestralingssterkte.**

Referentie	Bevinding inclusief bestralingssterkte per stralingshoek van NBV
Bauer et al. (2013)	Borstkanker 12% (95% BI: 4-20%) waarschijnlijker bij hoogste (>41 watts/cm <sup>2</sup> /sterradian) t.o.v. laagste tertiel (0-20 watts/cm <sup>2</sup> /sterradian)
Hurley et al. (2014)	Borstkanker 12% (95% BI: 0-26%) waarschijnlijker bij hoogste (53,4 – 175,2 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sterradian) t.o.v. laagste kwintiel (0-14,2 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sterradian)
James et al. (2017)	Borstkanker 14% (95% BI: 1-29%) waarschijnlijker bij hoogste (41,4 – 248,1 nanoWatts/cm <sup>2</sup> /sterradian) t.o.v. laagste kwintiel (0,4-7,2 nanoWatts/cm <sup>2</sup> /sterradian)
Garcia-Saenz et al. (2018)	Cijfers per tertiel vermeld maar zonder units
Ritonja et al. (2020)	Borstkanker 17% minder waarschijnlijk bij hoogste (194,75-628,56 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sr) t.o.v. laagste tertiel (0-123,05 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sr)
Xiao, James, et al. (2020)	Borstkanker 10% (95% BI: 2-18%) waarschijnlijker bij hoogste (interkwartielrange binnen kwintiel: 66,6-90,3 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sterradian) t.o.v. laagste kwintiel (interkwartielrange binnen kwintiel: 2,4-6,3 nanowatts/cm <sup>2</sup> /sterradian)

Nota: deze studies werden allen opgenomen in de systematische review van Wu et al. (2021).

#### 4.2.1.3. Resultaten artikel gepubliceerd na systematische review

De publicatie van Clarke et al. (2021) werd nog niet opgenomen in de systematische reviews, omdat ze later gepubliceerd werd. Bij een cohorte van Deense verpleegkundigen (n=16.941) werd er geen associatie gevonden tussen NBV gemeten met satellietbeelden en borstkanker. De relatie werd ook niet gevonden na controle voor parameters van luchtvervuiling, verkeersgeluid en groen in de omgeving. De bestralingssterkte per stralingshoek van verlichting in deze studie was tussen 65,8 en 446,4 nanowatts/cm<sup>2</sup>/sr voor het hoogste tertiel en tussen 0 en 21,9 nanowatts/cm<sup>2</sup>/sr voor het laagste tertiel.

#### 4.2.1.4. Artikels niet geïncludeerd in systematische review

We vonden 6 studies die groepsstatistieken van een borstkanker (prevalentie, incidentie, standaard morbiditeit ratio, ...) associëren aan groepsstatistieken van NBV (ook ecologische studies genaamd). Borstkanker en NBV werden in deze 6 studies allebei berekend voor kleine tot grote geografische eenheden. Deze studies vonden telkens een positieve associatie tussen NBV en borstkanker (Portnov et al., 2017; Y. J. Kim et al., 2015; Y. J. Kim et al., 2016; Kloog et al., 2010; Portnov et al., 2016; N. Rybnikova et al., 2015). Kloog et al. (2010) rapporteerde ook dat er geen associatie te vinden was met

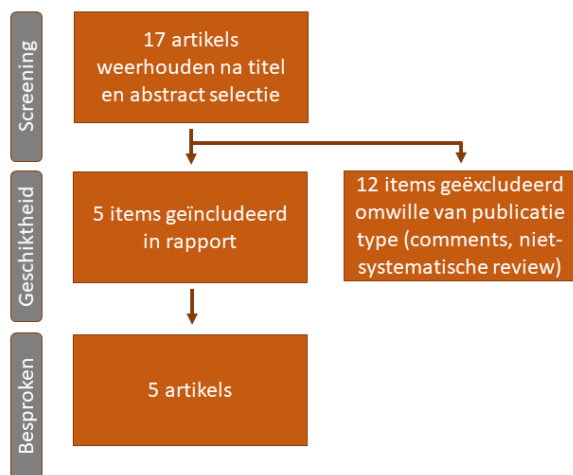
groepsstatistieken van andere kankers, zoals dikke darm kanker, kanker van het strottenhoofd, lever kanker en longkanker. Cohorte, case-control en cross-sectionele studies, die opgenomen werden in de systematische review, hebben echter een grotere validiteit dan ecologische studies.

Verder vonden we 2 studies die vragenlijsten gebruikten om gewoontes rond verlichting in kaart te brengen. De ene studie (n=278) rapporteerde een lager borstkanker risico bij vrouwen die met gesloten rolluiken slapen, en een hoger risico wanneer vrouwen naast sterke verlichtingsbronnen woonden (Keshet-Sitton et al., 2016; Keshet-Sitton, Or-Chen, Huber, et al., 2017). De associaties bleken in de andere studie (n=252) te verschillen volgens stedelijk of landelijk wonen (Keshet-Sitton, Or-Chen, Yitzhak, et al., 2017). Het scoren van de intensiteit van verlichting in een vragenlijst blijft een subjectief gegeven. Beide studies vermelden dan ook dat verder onderzoek nodig is met een grotere studiepopulatie en met technologie die lichtblootstelling objectief kan meten.

## 4.2.2. Resultaat literatuurstudie andere kankertypes

### 4.2.2.1. Resultaat studie selectie

Op basis van de geschiktheidscriteria beschreven in de methodologie, weerhielden we na de titel en abstract selectie 17 items die handelden over kanker, met uitsluiting van borstkanker (zie vorige paragraaf). Dit aantal werd verder gereduceerd tot 5 items na het bekijken van de volledige tekst. Twaalf items bestonden namelijk uit een commentaar of een niet-systematische review, en werden niet weerhouden. Er is geen systematische review beschikbaar. Figuur 15 geeft de studieselectie weer in een flow diagram.



Figuur 15 Flow diagram studieselectie voor andere kankertypes

### 4.2.2.2. Resultaten artikels

We vonden 1 cohort studie, 2 artikels van dezelfde case-control studie en 2 ecologische studies die de associatie tussen NBV en enkele kankertypes onderzochten.

In de cohortstudie van Zhong et al. (2020) werd de ontwikkeling van **Non Hodgkin lymfoom** bij een cohorte vrouwelijke leerkrachten uit California (n=150.937) gekoppeld aan blootstelling aan NBV gemeten met satellietbeelden (m.n. New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness). De blootstelling aan NBV werd berekend voor de woonplaats bij de start van de studie (1995 – 1996), terwijl nieuwe diagnoses van Non Hodgkin Lymfoom in de cohorte werden geteld tussen de start van de studie en 15/12/2015. Het cohort werd opgedeeld in kwintielen volgens blootstelling aan NBV. Na het corrigeren van de analyse voor leeftijd, etniciteit, gemiddelde socio-economische status van de

buurt, roken, gewichtstatus en familiale voorgeschiedenis, vond men dat vrouwen in het hoogste kwintiel in vergelijking met het laagste kwintiel een 32% verhoogd risico had op Non Hodgkin lymfoom (Hazard Ratio=1,32; 95% BI=1,07-1,63). Een verhoogd risico werd ook gevonden voor één van de subtypes van Non Hodgkin Lymfoom, namelijk 'diffuus grootcellig B-cellymfoom' (Hazard Ratio=1,70; 95% BI=1,03-2,79). Vrouwen die rapporteerden dat ze sliepen met het licht aan in de slaapkamer werden niet geïnccludeerd in deze analyses. De bestralingssterkte van NBV per kwintiel werd niet vermeld in de analyse. In deze analyses werd niet gecorrigeerd voor graad van verstedelijking, terwijl dit wel een significante factor bleek in het voorkomen van Non Hodgkin lymfoom in univariate analyses (percentage wonen in steden is groter voor Non Hodgkin lymfoom gevallen dan voor de anderen in de cohorte).

Twee artikels werden uitgeschreven op basis van een case-control studie die gebruik maakte van foto's van het Internationaal Ruimtestation (ISS) om blootstelling aan NBV te berekenen voor woonplaatsen in Barcelona en Madrid voor 2012-2013. Het artikel van Garcia-Saenz et al. (2018) bekeek de relatie met borstkanker (zie hoofdstuk 4.2.1.2) en met **prostaat**kanker, twee hormonale kankers. Tussen 2008 en 2013 werden 623 prostaat kanker gevallen en 879 controles geïnccludeerd. Ze vonden dat bij het hoogste tertiel van blootstelling aan NBV in het totale visuele spectrum ten opzichte van het laagste er een lager risico was op prostaat kanker, dus anders dan verwacht (OR=0,56; 95% BI=0,38-0,84). Maar bij het hoogste tertiel van blootstelling aan NBV in het blauwe spectrum ten opzichte van het laagste was het voorkomen van prostaat kanker 2 keer waarschijnlijker (OR=2,05; 95% BI=1,38-3,03). Deze analyses werden gecorrigeerd voor leeftijd, diagnose centrum, educatieniveau, socio-economische status, stedelijke kwetsbaarheidsindex, gewichtstatus, roken, familiale voorgeschiedenis, chronotype en controle van indoor buitenverlichtingsmetingen; shift-werkers werden geëxcludeerd.

Het artikel van Garcia-Saenz et al. (2020) onderzocht de relatie tussen NBV en **dikke darm kanker**. Tussen 2007 en 2013 werden 661 gevallen en 1.322 controles geïnccludeerd. Met blootstelling aan NBV in het totale visuele spectrum werd er geen relatie gevonden. Wel was het voorkomen van dikke darm kanker 70% waarschijnlijker bij het hoogste tertiel van blootstelling aan NBV van het blauwe spectrum ten opzichte van het laagste tertiel (OR=1,70; 95% BI=1,3-2,3). Bij het opsplitsen naar golflengtes vonden ze hogere risico's op dikke darm kanker bij de hoogste blootstelling aan NBV met kortere golflengtes (overlappend met het blauwe spectrum) en geen associaties of een omgekeerde associatie voor langere golflengtes. De analyses werden gecorrigeerd voor gebied, socio-economische status, voedingspatroon, roken, slaap en familiale voorgeschiedenis. In beide artikels van Garcia-Saenz et al. (2018 en 2020) was de onderzoekspopulatie enkel afkomstig uit stedelijk gebied, dus hiervoor diende niet gecorrigeerd te worden. De bestralingssterkte van (blauwe) NBV per tertiel werd in geen van beide artikels vermeld.

De ecologische studie van Kloog et al. (2010) gebruikte satellietbeelden van de DMSP om een inschatting te maken van NBV voor 164 landen. Het verband tussen NBV en kankerincidentie ratio's voor de verschillende landen werd onderzocht, rekening houdend met parameters zoals elektriciteitsconsumptie, percentage stedelijke populatie, gemiddeld aantal geboortes per vrouw en bruto binnenlands product per capita. NBV op landniveau was **niet gerelateerd aan** incidentie ratio's van **dikke darm kanker, kanker van het strottenhoofd, lever kanker en longkanker** (wel aan borstkanker, zie 4.2.1.4).

De ecologische studie van K. Y. Kim et al. (2017) onderzocht de associatie tussen NBV, gemeten via satellietbeelden van de DMSP, en de incidentie per district van een reeks kankers. De districten lagen zowel in stedelijke als landelijke gebieden in Zuid-Korea. Ze corrigeerden de analyses voor enkele parameters gemeten per district (m.n. roken, alcohol, gewichtstatus, stress, luchtvervuiling (PM10), urbanisatie en kankerscreening ratio). In gebieden met een blootstelling aan NBV op percentiel 75 was het risico op **prostaat**kanker 12,6% terwijl dit slechts 7,3% was in gebieden met blootstelling op percentiel 25, en het verschil was statistisch significant. De studie geeft echter geen informatie over de bestralingssterkte horende bij percentiel 25 en percentiel 75. De studie onderzocht ook kankerincidentie van de **maag, slokdarm, lever, pancreas, strottenhoofd, longen en luchtwegen**,

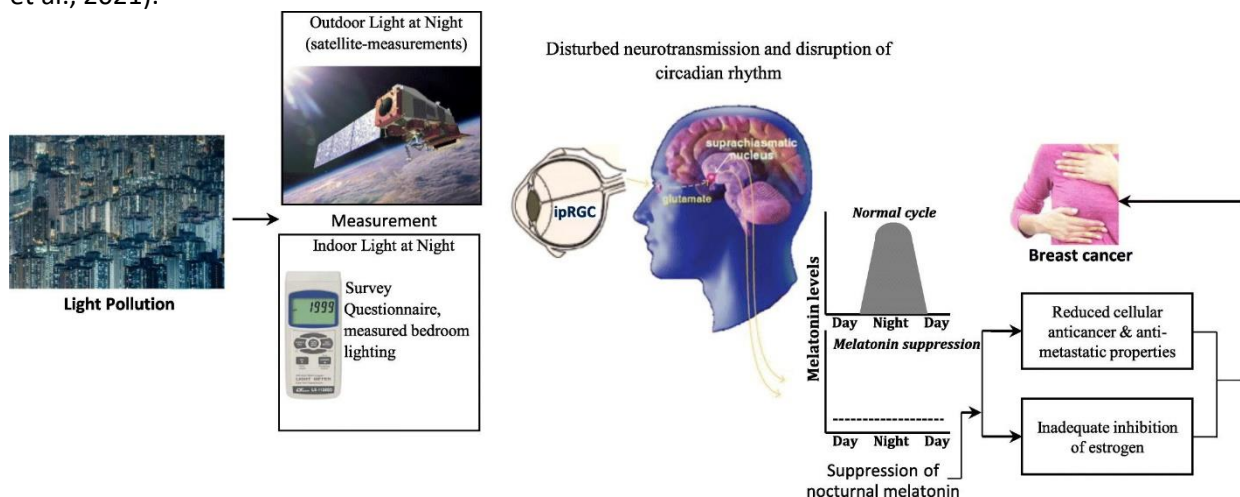
**blaas, hersenen en centraal zenuw systeem, lymfoom en multipel myeloom**, maar vond geen significante associatie met NBV.

Cohorte, case-control en cross-sectionele studies hebben echter een grotere validiteit dan ecologische studies, omdat ze kunnen corrigeren voor individuele leefstijlfactoren (bv. voor voedingspatroon bij dikke darm kanker).

#### 4.2.3. Bespreking borstkanker en andere kankertypes

Kanker is een heterogene en multifactoriële ziekte. Het verwijst naar een groep ziektes waarin abnormale cellen zich vermenigvuldigen, vaak tot een massa die we tumor noemen, en zich verspreiden. Deze abnormale kankercellen ontstaan doordat het erfelijk materiaal van de cel (het DNA) heel wat beschadigingen ondergaat die niet of onvoldoende worden hersteld. Factoren die bijdragen aan het ontstaan van kankercellen worden ‘kankerverwekkend’ genoemd. Zo wordt het werken in nachtploegen, wat het circadiaans ritme verstoort, door het International Agency of Cancer Research (IARC) op basis van uitgebreid studiewerk geassocieerd als ‘waarschijnlijk kankerverwekkend’. Dit concludeerde het IARC onder andere op basis van bevindingen **bij mensen** met een verhoogd risico op borstkanker, maar ook op prostaat- en dikke darm kanker. Verder besloten ze dat er voldoende bewijskracht is vanuit experimenteel onderzoek **bij dieren** dat veranderingen in het licht-donker schema carcinogeen zijn (d.w.z. kankerverwekkend). Ook vonden ze sterke evidentie voor het mechanisme achter deze carcinogeniteit, dat zou werken via immuun onderdrukking, chronische inflammatie en celvermeerdering (Ward et al., 2019).

Het schema in Figuur 16 illustreert het vermoedelijke onderliggende mechanisme voor de relatie tussen verstoring van het circadiaans ritme en het ontstaan van borstkanker. Het circadiaans ritme wordt verstoord door veranderingen in het licht-donker schema. Dit heeft tot gevolg dat er minder melatonine wordt geproduceerd in de hersenen (zie hoofdstuk 4.1). Melatonine zou eigenschappen bevatten die kankerontwikkeling en kankermetastase tegengaan. Minder melatonine heeft ook als gevolg dat er een hoger estrogeenniveau is, wat ook een belangrijke risicofactor is van borstkanker (Lai et al., 2021).



**Figuur 16 Vermoedelijk mechanisme onderliggend aan het verband tussen nachtelijke buitenverlichting (NBV) en borstkanker (figuur uit Lai et al. (2021))**

Alhoewel we minder blootgesteld zijn aan NBV dan aan nachtelijke binnenverlichting, toonde een systematische review een **verband tussen NBV gemeten vanuit de ruimte en een hoger risico op borstkanker aan met matige bewijskracht** (Wu et al., 2021). Verder bleek dit verband sterker wanneer enkel vrouwen met oestrogeen receptor positieve tumoren geïnccludeerd werden, wat ook te verklaren zou zijn door een verminderde productie van melatonine (Lai et al., 2021). Er zijn ook aanwijzingen dat **licht uit het blauwe spectrum een sterker verband heeft met het voorkomen van borstkanker** (Garcia-Saenz et al., 2018), maar toekomstig onderzoek dient dit te bevestigen.

Er zijn een aantal bedenkingen bij deze bevindingen:

- Het **verband** tussen NBV en borstkanker werd gevonden **in de meeste maar niet in alle individuele studies** opgenomen in de systematische review. Enkele daarvan zijn cohort studies, wat wil zeggen dat de studie bij een groep mensen opeenvolgende metingen doet gedurende een tijdsperiode. De cohort studies met een heel grote studiepopulatie (>100.000; Hurley et al., 2014; James et al., 2017 en Xiao, James, et al., 2020) vonden een significant verband, maar studies met een kleinere studiepopulatie niet (tussen 1.000 – 20.000, zoals de case-control studies van Ritonja et al. (2020) of de cohort studie van Clarke et al. (2021)). De studie van Garcia-Saenz et al. (2018) vond enkel een verband met blauw licht en niet met licht uit het volledige visuele spectrum. Deze studie is de enige van de 6 studies die blauw licht specifiek bestudeert, en heeft ook een kleinere studiepopulatie. Bij studies met een grotere studiepopulatie is de onzekerheid bij de statistische analyse kleiner, waardoor ook kleinere effecten als statistisch significant gedetecteerd kunnen worden. Ook het verschil in studiedesign kan de verschillende resultaten verklaren. Een andere verklaring die wordt aangehaald voor inconsistente resultaten tussen de studies, zijn verschillen in methode om de lichtblootstelling in te schatten; dit wordt besproken in het hoofdstuk 'Algemene bespreking'. Clarke et al. (2021) en Ritonja et al. (2020) benoemen ook de afstand tot de evenaar als mogelijke verklaring van inconsistentie: bij studiepopulaties uit meer noordelijke gebieden (Canada, Denemarken) was er geen significante relatie tussen NBV en borstkanker, terwijl dat wel het geval was bij studiepopulaties uit het noordelijk halfrond die dicht bij de evenaar woonden (VS en Spanje). Mogelijks zijn mensen in noordelijker gelegen gebieden minder buiten 's avonds; anderzijds zijn ze ook meer blootgesteld aan natuurlijke wisselende licht-donker schema's, met name lange donkerteperiodes in de winter, korte donkerteperiodes in de zomer.
- Blootstelling aan hoge NBV gaat vaak samen met andere omgevingsfactoren, bv. verstedelijking, geluidsoverlast van verkeer, luchtvervuiling, weinig natuur in de omgeving of veel economische activiteit. Verder zou hoge NBV ook kunnen samengaan met specifieke leefstijlfactoren zoals roken, alcoholgebruik, slaapgewoonten, hormonale contraceptie en schermgebruik. De opgesomde omgevings- en leefstijlfactoren vormen mogelijks zelf een risico op borstkanker (bv. Andersen et al. (2018) voor verkeersgeluid, Mørch et al. (2017) voor hormonale contraceptie). De beschreven studies in de systematische review controleren het verband tussen NBV en borstkankerrisico telkens voor enkele van deze factoren, maar niet voor alle factoren. Het niet controleren voor omgevingsfactoren die samenhangen met NBV kan maken dat het gevonden verband in werkelijkheid niet aanwezig is: het gevonden verband kan te verklaren zijn door een verband met één of meerdere van de andere omgevingsfactoren. Anderzijds houden de grote cohort studies wel rekening met verstedelijkingsgraad, een parameter die vaak samenhangt met andere omgevingsfactoren. Toekomstig onderzoek naar het verband tussen NBV en het voorkomen van borstkanker heeft best voldoende aandacht om op een statistisch correcte manier te corrigeren voor risicofactoren.

Voor de **andere kankertypes** zijn er **minder artikels gevonden**. Eén artikel onderzocht en vond een relatie tussen NBV in het visuele spectrum en het voorkomen van Non Hodgkin lymfoom. Ze corrigeerden echter niet voor verstedelijking of andere factoren die samengaan met NBV, waardoor er niet uitgesloten kan worden dat het effect eigenlijk het gevolg is van een andere factor (Zhong et al., 2020). Verder vonden we telkens één artikel dat een groter risico op respectievelijk prostaatcancer en dikke darm kanker toonde bij een hogere blootstelling aan NBV in het blauwe spectrum (Garcia-Saenz et al., 2019; Garcia-Saenz et al., 2020). Deze resultaten worden ondersteund door de conclusie van het IARC dat werken in nachtshiften, met verstoring van het circadiaans ritme tot gevolg, ook een risico inhoudt op prostaat- en dikke darm kanker (Ward et al., 2019). Een ecologische studie vond geen verband tussen NBV en dikke darm kanker, kanker van het strottenhoofd, lever kanker en longkanker;



we hechten minder belang aan de resultaten omdat ecologische studies niet kunnen corrigeren voor belangrijke leefstijlfactoren (Kloog et al., 2010).

### 4.3. Relatie NBV met overgewicht en obesitas

In het kort:

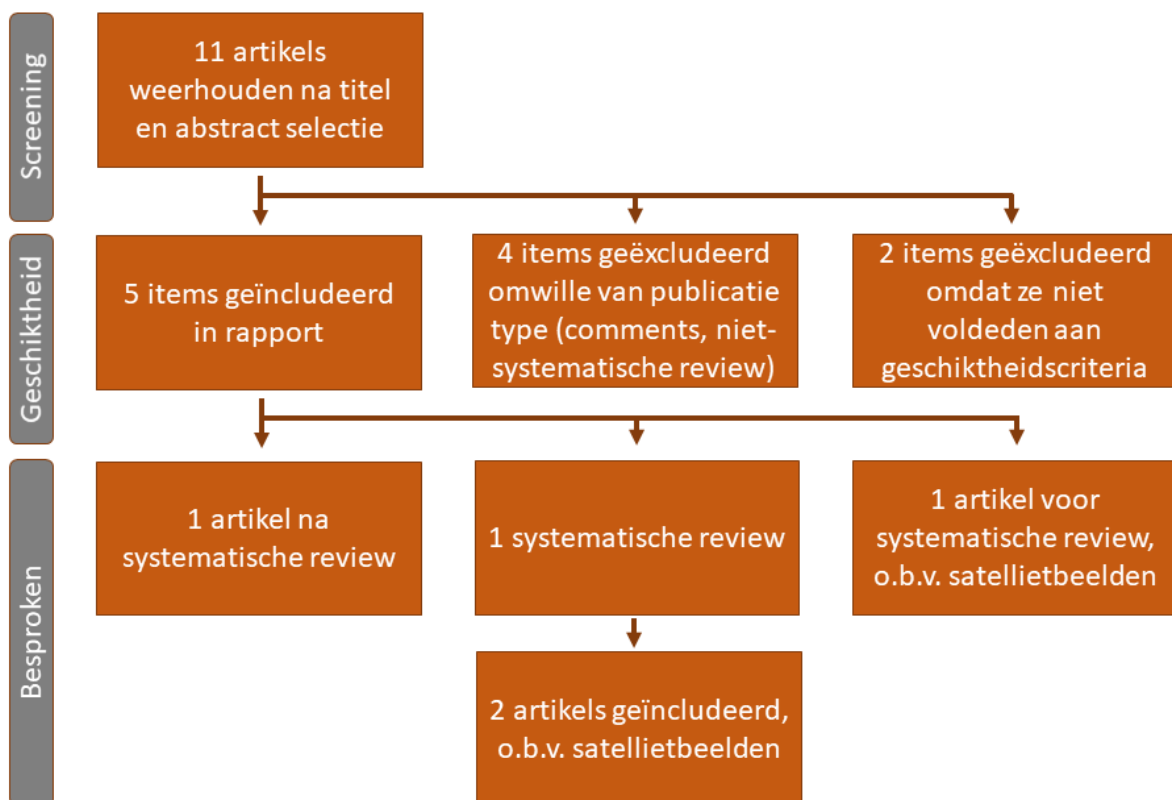
- Een hogere graad aan NBV rond de woonplaats, gemeten vanuit de ruimte, lijkt een risicofactor te zijn van overgewicht en obesitas.

Obesitas komt steeds meer voor in Vlaanderen, maar ook wereldwijd wordt er vaak van een obesitas-epidemie gesproken. Volgens de cijfers uit de gezondheidsenquête 2018, uitgevoerd door Sciensano, blijkt dat 48,2% overgewicht (BMI  $\geq 25$ ) heeft en 15% obesitas (BMI  $\geq 30$ ). De gemiddelde BMI bij de volwassen bevolking in België ligt op 25,5 kg/m<sup>2</sup> ligt. Volgens de WHO cut-off waarden wil dit zeggen dat dit gemiddelde binnen de criteria van overgewicht ligt (Drieskens, zonder datum). In 2016 had 39% van de wereldwijde volwassen bevolking overgewicht en 13% had obesitas (World Health Organization: WHO, 2021). Obesitas verhoogt het risico op meerdere chronische aandoeningen zoals diabetes mellitus type 2, hart- en vaatziekten, ademhalingsproblemen, gewrichtsproblemen, lever- en hormonale stoornissen en bepaalde vormen van kanker zoals borst- en dikke darmkanker. Ook op psychisch en sociaal vlak kan obesitas negatieve gevolgen hebben. In het ergste geval kan obesitas leiden tot vroegtijdig sterfte (Risico's En Gevaren, zonder datum).

#### 4.3.1. Resultaat literatuurstudie

##### 4.3.1.1. Resultaat studieselectie

Er werden 11 items geselecteerd na lezen van titel en abstract waarvan er 5 werden weerhouden (4 items bestonden uit een commentaar of een niet-systematische review, 2 items bleken bij het lezen van de volledige tekst toch niet te voldoen aan de geschiktheidscriteria). Van de 5 weerhouden artikels was er één systematische review, die 2 van de 5 artikels over NBV besprak.



Figuur 17 Flow diagram studieselectie voor obesitas

#### 4.3.1.2. Resultaten systematische review

In de tekstbox hieronder en in Figuur 18 worden de belangrijkste gegevens van de systematische review van Lai et al. (2020) beschreven.

**Titel:** Exposure to light at night (LAN) and risk of obesity: a systematic review and meta-analysis of observational studies

**Auteurs (publicatiejaar); tijdschrift:** Lai K.Y., Sarkar C., Ni M., Gallacher J., Webster C. (2020); environmental research. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109637.

**Kwaliteit van de studie:** richtlijn OHAT voor literatuur-gebaseerde gezondheidsbeoordeling gevolgd; GRADE benadering voor beoordeling kwaliteit individuele studies; PRISMA om studieresultaten weer te geven; I<sup>2</sup> om de consistentie van het cumulatieve bewijs van de studies na te gaan.

**Zoekopdracht:** 24 december 2019; MEDLINE, Academic Search Complete, CINAHL Plus en PubMed.

**Zoekterm:** (light exposure OR artificial light at night OR artificial light-at-night OR night time light OR nighttime light OR night light OR bedroom light OR light at night OR environmental lighting OR ambient light OR dim light at night OR light pollution OR domestic light) AND (adiposity OR body mass index OR bmi OR body weight OR weight OR obesity OR overweight OR over-weight OR diabetes OR type 2 diabetes) / (electronic OR technology OR television OR media OR phone) AND (adiposity OR body mass index OR bmi OR body weight OR weight OR obesity OR overweight OR over-weight OR diabetes OR type 2 diabetes) AND (night-time OR sleep OR bedroom OR night)

**Studieselectie volgens PECO:**

Populatie: Algemene bevolking

Expositie (=Exposure): Hoogste blootstelling aan nachtelijke verlichting

Comparatoren (=Comparators): Laagste blootstelling aan nachtelijke verlichting

Outcomes (=Outcomes): overgewicht en obesitas

**Geïnccludeerde individuele studies:** Obayashi et al. (2020); Park et al. (2019); Abay en Amare (2018); Dube et al. (2017); Koo et al. (2016); Obayashi et al. (2016); McFadden et al. (2014); Obayashi et al. (2013); Arora et al. (2013); Chahal et al. (2013); Calamaro et al. (2012); Giammattei et al. (2003).

**Resultaten:**

Studie kenmerken: 3 longitudinale studies en 9 cross-sectionele studies

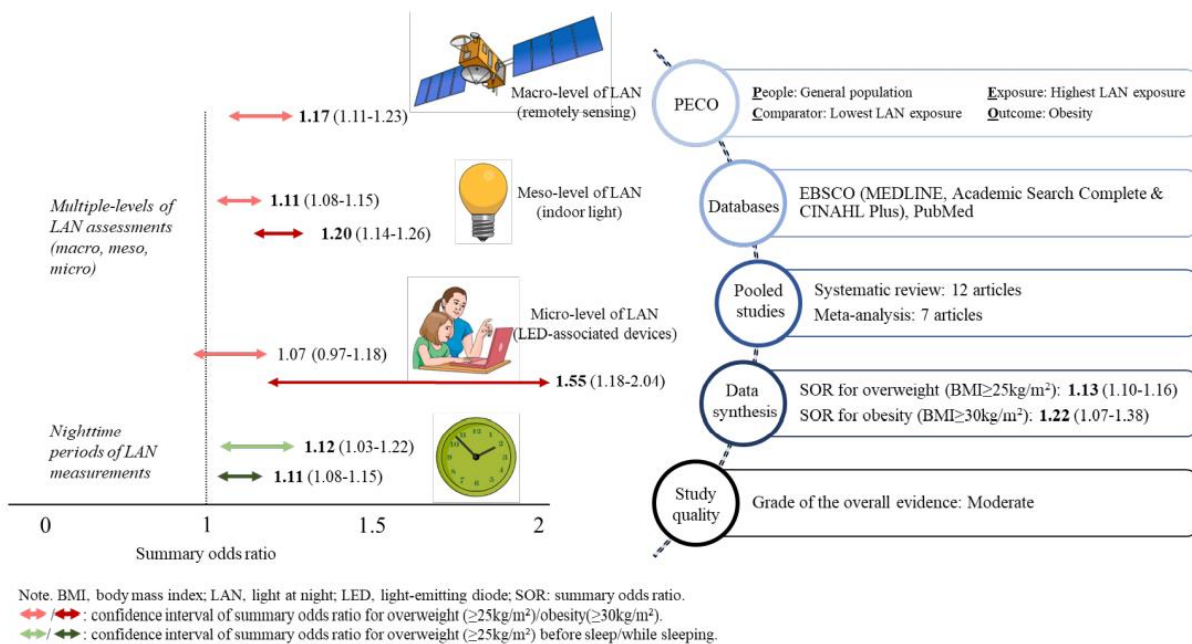
Opdeling tussen macroniveau (buitenverlichting), mesoniveau (binnenverlichting) en microniveau (ledverlichting)

Meta-analyse:

-twee studies onderzochten NBV; OR voor overgewicht bij blootstelling aan de hoogste categorie NBV t.o.v. de laagste categorie is 1,17 (95% BI = 1,11; 1,23), en dus significant (Abay & Amare, 2018;Koo et al., 2016) .

-Over de gehele review concludeerden de onderzoekers dat men significant meer kans had op overgewicht (BMI ≥25) en obesitas (BMI ≥30), met respectievelijk 13% en 22%, als men in de hoogste categorie van nachtelijke binnen- én buitenverlichting ten opzichte van de laagste zat.

**Betekenis:** Er is epidemiologisch bewijs met matige bewijskracht dat blootstelling aan de hoogste ten opzichte van de laagste categorie nachtelijke (buiten)verlichting samengaat met een hoger risico op overgewicht en obesitas.



**Figuur 18** Overzichtsfiguur van de systematische review van Lai et al. (2020).

#### 4.3.1.3. Resultaten artikel gepubliceerd na systematische review

Zhang et al. (2020) gingen via een longitudinale studie na of er een relatie was tussen blootstelling aan nachtelijke buitenverlichting en de kans op ontwikkeling van obesitas na 10 jaar. Ze onderzochten 239.782 50 tot 71-jarigen uit de Verenigde Staten. Bij de analyses werden er 2 modellen opgesteld waarbij gecorrigeerd wordt voor verschillende factoren. In het eerste model werd er gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht en BMI bij de start. In het tweede model werd er gecorrigeerd voor de factoren uit model 1 en ook ras/ethniciteit, status bij start, burgerlijke stand, waarde van de woning, armoedecijfer en bevolkingsdichtheid. De nachtelijke verlichting werd opgedeeld in bestralingssterktes per stralingshoek aan de hand van kwintielen waarbij het eerste kwintiel de referentie is (kwintiel 1=0,7-9,6; kwintiel 2=9,7-20,2; kwintiel 3=20,3-35,1; kwintiel 4=35,2-57,0; kwintiel 5=51,7-220,7; in nanoWatts/cm<sup>2</sup>/sr). Verder wordt er ook een opdeling gemaakt tussen mannen en vrouwen. Bij de prospectieve analyses zag men bij de follow-up dat mensen die bij de start in gebieden woonden met hoge NBV significant meer kans hadden op het ontwikkelen van obesitas. De mensen in het hoogste kwintiel hadden 15% (p-waarde model 2=0,001 dus significant) meer kans op het ontwikkelen van obesitas na 10 jaar in vergelijking met het laagste kwintiel. Ook bij afzonderlijke analyses bij mannen en vrouwen in model 2 was er voor beiden een significante stijging in risico op het ontwikkelen van obesitas, die hoger was voor vrouwen (OR hoogste t.o.v. laagste kwintiel NBV voor mannen = 1,12 met 95% BI 1,00-1,25; voor vrouwen = 1,19 met 95% BI 1,04-1,36).

#### 4.3.1.4. Resultaten artikel gepubliceerd voor systematische review

Het artikel van Rybnikova et al. (2016) werd niet geïnccludeerd in de systematische review van Lai et al. (2020). Deze grootschalige ecologische studie waar meer dan 80 landen aan deelnamen vertoont een gelijkaardige conclusie als de systematische review. Deze studie rapporteerde een positieve correlatie tussen blootstelling aan nachtelijke verlichting en overgewicht/obesitas. Satellietbeelden werden opgevraagd bij de US Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) en werden gecombineerd met de WHO prevalentiecijfers van obesitas en overgewicht per land. Bij de analyses werd er gecorrigeerd voor Bruto Binnenlands Product (BBP) per capita, urbanisatieniveau, geboortecijfer, voedselconsumptie en regionale verschillen. Hieruit bleek dat nachtelijke verlichting een significante en positieve voorspeller is voor overgewicht en obesitas ( $t > 1,97$ ,  $p < 0,05$ ).

### 4.3.2. Bespreking

Obesitas is een multifactoriële aandoening. De gekende risicofactoren voor obesitas zijn ongezond eetgedrag waarbij de energie-inname hoger is dan het energieverbruik, een onevenwichtige energieverdeling met een hoge inname van suikers en vetten, onvoldoende beweging of een sedentaire levensstijl (World Health Organization: WHO, 2021).

De besproken studies wijzen er op dat ook blootstelling aan NBV een risico kan vormen op overgewicht en obesitas (Abay & Amare, 2018; Koo et al., 2016; Zhang et al., 2020). Een aandachtspunt is dat er best gecorrigeerd wordt voor enkele specifieke factoren die vaak niet werden bevraagd zoals voedingsinname en sedentair gedrag (Koo et al., 2016). De gemeten NBV werd via opvraging van satellietbeelden gedaan, maar mogelijks was de resolutie van deze beelden van minder goede kwaliteit.. Satellietbeelden geven daarbij ook enkel een indicatie over de blootstelling aan NBV, maar aan hoeveel NBV een persoon werkelijk wordt blootgesteld werd in de studies niet onderzocht. Zo weet men bijvoorbeeld niet of de persoon gebruik maakt van een slaapmasker, verduisterende gordijnen, rolluiken, ... (Zhang et al., 2020).

Er zijn enkele mogelijke mechanismen die aan de basis liggen van een verhoogd risico op obesitas ten gevolge van nachtelijke lichtblootstelling. Door de blootstelling aan licht wordt de secretie van melatonine onderdrukt of uitgesteld waardoor het circadiaans ritme wordt verstoord. Een verstoring van dit circadiaans ritme zou het metabolisme aantasten met een verstoring van het glucosepeil, verhoogde prevalentie van metabool syndroom en obesitas als gevolg (Nelson & Chbeir, 2018). Verder kan nachtelijke blootstelling aan licht leiden tot hongergevoel en nachtelijk snacken waarbij de energie-inname het energieverbruik kan overstijgen (Zhang et al., 2020).

#### 4.4. Relatie NBV met oogfunctie

In het kort:

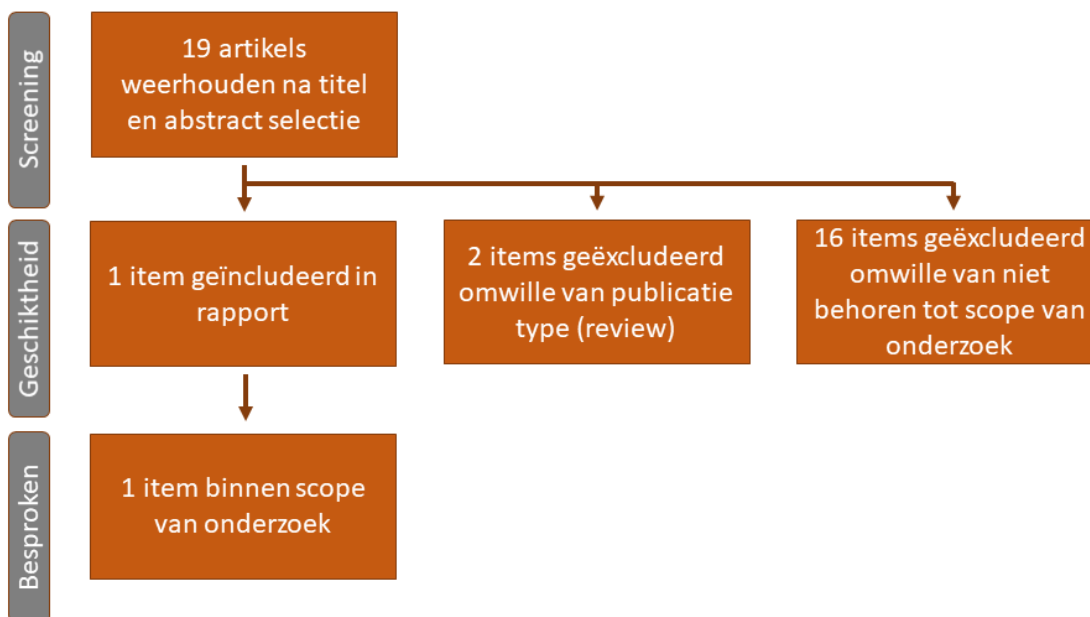
- Geen evidentie gevonden voor effecten van NBV op gezondheid van het oog.

Volgens de gegevens op de website van het Vlaams oogfonds heeft 17% van de wereldbevolking een oogziekte of last van blindheid. In België zijn er naar schatting 200.000 mensen met een ernstig verlies van het zicht. Er wordt een stijging verwacht van 25% van het aantal slechtzienden in de komende 10 jaar. Voorbeelden van veelvoorkomende oogziektes zijn blindheid, diplopie (dubbelzien), diabetische retinopathie, glaucoom, cataract en maculadegeneratie (Oogziektes, zonder datum).

##### 4.4.1. Resultaat literatuurstudie

###### 4.4.1.1. Resultaat studieselectie

Op basis van de geschiktheidscriteria beschreven in de methodologie, weerhielden we 19 items die handelden over oogfunctie en nachtelijke verlichting na de titel en abstract selectie. Dit aantal werd verder gereduceerd tot 1 item na het bekijken van de volledige tekst. 2 items werden niet geselecteerd omdat deze reviews waren en verder ook niet binnen de scope vielen. Verder gaven 16 items een antwoord op andere vragen dan de onderzoeksvraag van de huidige literatuurstudie.



Figuur 19 Flow diagram studieselectie voor oogfunctie

###### 4.4.1.2. Resultaten artikels

In de cohorte van Saw et al. (2001) werd onderzocht of er een verband was tussen myopie (bijziendheid) en verschillende vormen van artificiële verlichting tijdens de nacht, waaronder NBV, vóór de leeftijd van 2 jaar. Uit de resultaten blijkt dat er geen significant verband was tussen blootstelling aan eender welke verlichting tijdens de nacht vóór de leeftijd van 2 jaar en bijziendheid. Het onderzoek van Guggenheim et al. (2003) sluit aan bij deze bevindingen. Deze studie onderzocht geen NBV maar vond ook geen verband tussen bijziendheid en blootstelling aan artificieel licht tot de leeftijd van 2 jaar.

#### 4.4.2. Bespreking

Slechts één van de gevonden artikels paste binnen de scope van het onderzoek. Dit onderzoek vond geen verband tussen nachtelijke verlichting en het effect op de gezondheid van het oog, in dit geval bijziendheid.

Er werd in grotere mate literatuur teruggevonden van experimentele studies die de oogfunctie onderzochten in het nachtelijk verkeer of in de nachtelijke werkomgeving. Deze studies onderzochten onder andere het zicht en de reactiesnelheid in het donker onder verschillende vormen van artificieel licht tijdens de nacht zoals straat- en tunnelverlichting, autolampen en verlichtte reclameborden. Via deze experimenten werden aanbevelingen gedaan naar betere en veiligere nachtverlichting voor autobestuurders of werkers zodat het beste zicht wordt gegarandeerd. Deze studies vallen buiten de grenzen van deze literatuurstudie omdat de gezondheid van het oog niet wordt onderzocht. Er werd ook vooraf beslist om veiligheidsaspecten niet te onderzoeken in deze literatuurstudie (zie hoofdstuk 'Onderzoeksvraag').

Een voorbeeld is het onderzoek van Zalesińska (2018) waaruit blijkt dat de toegestane sterkte, locatie en oppervlakte van reclameborden op een ledscherm langs de weg, de visuele prestatie van de bestuurder significant vermindert. Via dit onderzoek wil men nieuwe aanbevelingen voorleggen over de lichtintensiteit, locatie en oppervlakte van reclame op een ledscherm.

Een ander voorbeeld is het onderzoek van Wood et al. (2018) waarbij er een significante vertraging van reactiesnelheid werd teruggevonden bij het dimmen van de straatverlichting. Verder zag men dat het dimmen van de straatverlichting de afstand beduidend verkort tussen de bestuurder en een voetganger wanneer de bestuurder deze opmerkt. Er wordt geconcludeerd dat het dimmen van de straatverlichting een impact heeft op het zicht van de bestuurder. Volgens de auteur is hiermee nog niet duidelijk of deze verschillen in zicht een impact hebben op de veiligheid in het verkeer. Wood et al. (2018) raden aan om meer onderzoek te doen om geïnformeerde beslissingen te maken over het veilig dimmen van de straatverlichting.

Hoewel deze onderzoeken niet voor deze literatuurstudie relevant zijn, kunnen de studies wel voor andere experts relevant zijn. Expertise vanuit verschillende domeinen is nodig om NBV zo in te richten dat er een voldoende veilige omgeving gecreëerd wordt op plaatsen en tijdstippen gedurende de dag waarvoor dit nodig is, waarbij ook rekening gehouden wordt met lichtpollutie en het effect ervan op de gezondheid van mens en natuur.

#### 4.5. Relatie NBV met mentale gezondheid

In het kort:

- Er werd evidentie gevonden in een beperkt aantal studies voor een positieve associatie van NBV met stress, depressie en suïcidaal gedrag.
- De associatie met stress werd gevonden bij jongeren, de associaties met depressie en suïcidaal gedrag bij volwassenen.
- De associatie met stress was sterker bij jongeren uit gezinnen met een laag inkomen.
- Men kan geen uitspraken doen over oorzakelijkheid op basis van de bevindingen.

Volgens de gezondheidsenquête 2018 van Sciensano rapporteerden 6,7% van de Vlamingen dat ze lijden aan een depressie. Tussen 1997 en 2018 zag men in Vlaanderen een significante toename in zelfgerapporteerde depressie ( $p=0.02$ ). 7,8% van de Vlaamse kinderen en jongeren lijden vermoedelijk aan een emotionele stoornis en 15,7% lijdt aan een gedragsstoornis. In de tabel in Figuur 20 zijn meerdere cijfers over geestelijke gezondheid van het Vlaams gewest terug te vinden uit de gezondheidsenquête 2018 (Gisle et al., 2020).



## 1.2. VLAAMS GEWEST

Tabel 5 | Evolutie in het Vlaams gewest van 2001 tot 2018, Gezondheidsenquête 2018

	2001	2004	2008	2013	2018
<b>Percentage van de bevolking van 15 jaar en ouder</b>	%	%	%	%	%
dat zeer tevreden is over het leven					24,7
dat tevreden is over het leven					9,0
met een optimale levensenergie		25,2	22,9	19,1	17,0
met een psychisch onwelbevinden (GHQ 2+)	22,1	20,9	23,5	29,3	29,8
met een reële kans op een psychische aandoening (GHQ 4+)	11,5	11,2	12,7	16,0	15,0
met een gegeneraliseerde angststoornis*	5,3	5,3	5,8	9,2	8,6
met een depressieve stoornis (ernstig of ander)*	7,7	6,8	8,2	13,3	6,4
met een ernstige depressieve stoornis					3,2
met zelfmoordgedachten ooit in het leven		9,8	9,8	12,6	12,9
met zelfmoordgedachten in de afgelopen 12 maanden		-	2,9	4,9	3,3
met een zelfmoordpoging ooit in het leven		2,3	4,0	3,4	3,4
met een zelfmoordpoging in de afgelopen 12 maanden		0,3	0,4	0,5	0,1
met een zelfgerapporteerde depressie in de afgelopen 12 maanden	4,9	4,8	5,1	5,9	6,7
dat antidepressiva neemt	3,8	4,6	4,9	6,7	6,6
dat slaap- en kalmeermiddelen neemt	9,8	11,5	12,0	13,0	12,4
dat minstens één soort van deze psychotrope geneesmiddelen neemt	11,3	13,3	13,9	15,5	15,3
<b>Gemiddelden in de bevolking van 15 jaar en ouder</b>					
Tevredenheid met het leven (10 = het meest tevreden)					7,6
Vitaliteitsscore (100 = meest energie)		67,4	66,2	64,6	63,4
Score van welbevinden (12 = het slechtst)	1,1	1,1	1,2	1,5	1,5

Bron: Gezondheidsenquête, België, 2001, 2004, 2008, 2013, 2018; (\*) Verandering van vragenlijst tussen 2013 en 2018

Tabel 6 | Psychische problemen bij kinderen en jongeren, Vlaams Gewest, Gezondheidsenquête 2018

Percentage van de kinderen/jongeren van 2 tot 18 jaar	Meisjes		Jongens	
	Grenswaarde (%)	Vermoedelijk geval (%)	Grenswaarde (%)	Vermoedelijk geval (%)
met een emotionele stoornis	9,5	10,0	8,8	5,7
met een gedragsstoornis	6,1	7,1	9,1	9,1
met een aandachtstekort-hyperactiviteitsstoornis	5,1	10,8	7,8	14,5
met een relatiestoornis	6,5	10,4	9,9	12,3
met een prosociale gedragsstoornis	5,9	7,1	4,6	7,4
met een psychopathologie	5,6	7,6	7,2	7,5
met problemen vanuit het standpunt van de ouders		7,2		8,3

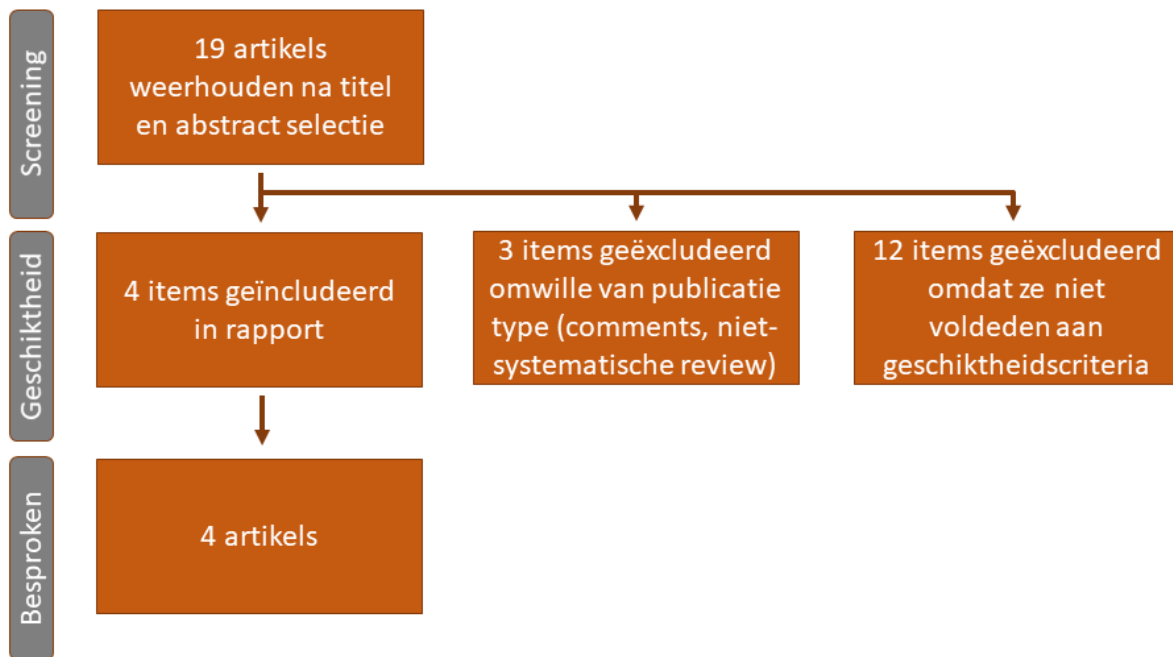
Bron: Gezondheidsenquête, België, 2018

Figuur 20 Cijfers over geestelijke gezondheid in het Vlaams gewest (Gisle et al., 2020)

### 4.5.1. Resultaat literatuurstudie

#### 4.5.1.1. Resultaat studieselectie

Er werden 19 items geselecteerd na lezen van titel en abstract waarvan er 3 werden weerhouden. Drie van de niet-geselecteerde items bestonden uit een commentaar of een niet-systematische review. Twaalf items bleken bij het lezen van de volledige tekst toch niet te voldoen aan de geschiktheidscriteria (zie Figuur 21).

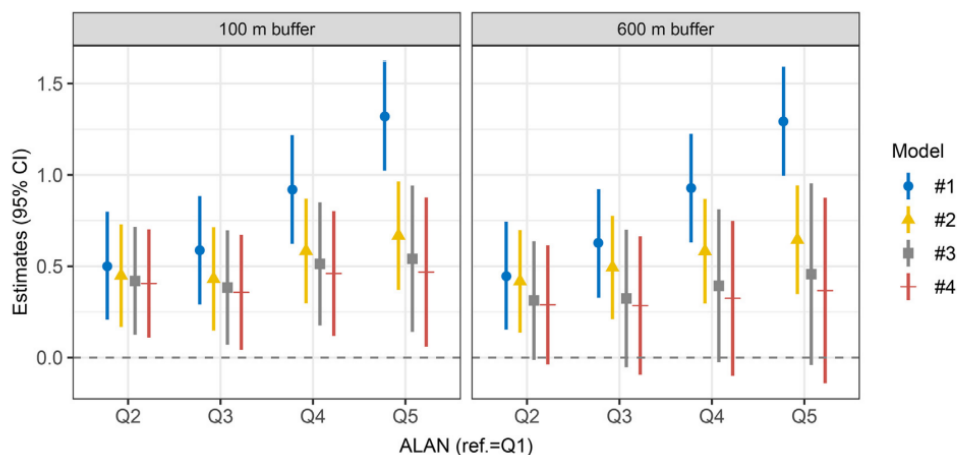


**Figuur 21** Flow diagram studieselectie relatie NBV met mentale gezondheid

Na titel en abstract selectie werd er voor 9 artikels ook aangeduid dat ze handelden over cognitie. Het grootste deel van deze artikels (m.n. 6) waren artikels die ook geselecteerd werden voor mentale gezondheid, maar die niet geschikt bleken voor de huidige literatuurstudie. Ook de 3 andere artikels voldeden niet aan de geschiktheidscriteria. Daarom wordt cognitie niet verder besproken in dit rapport.

#### 4.5.1.2. Resultaten artikels

Helbich et al. (2020) concludeerden in hun onderzoek dat depressie positief is gecorreleerd met NBV. De graad van NBV, gemeten via Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) satellietbeelden, werd geassocieerd met een dalende mentale gezondheid bij Nederlandse volwassenen ( $n = 10.482$ ) tussen 18 en 65 jaar. Er werd een significante stijging teruggevonden in depressieve symptomen bij verhoogde intensiteit van NBV. Bij het corrigeren voor bepaalde omgevings- en persoonsgebonden factoren (zoals fijn stof, urbanisatie, geluid, diversiteit aan landgebruik, groene omgeving, armoede en sociale fragmentatie) bleef de correlatie significant (Helbich et al., 2020). Figuur 22 toont in detail hun bevindingen. De maat voor NBV had geen eenheden waardoor we de mate van bestralingssterkte hier niet kunnen beschrijven.

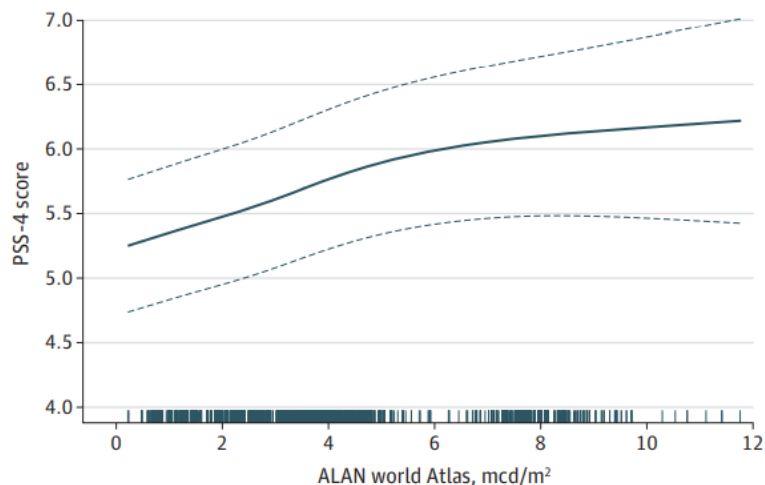


**Figuur 22** Associaties tussen kwintielen (Q) van NBV van de woonplaats en score voor depressieve symptomen; getest voor NBV binnen 100 m van de woonplaats en binnen 600 m van de woonplaats.

Nota: model 1: ongecorrigeerd; model 2: gecorrigeerd voor persoonsgebonden karakteristieken (geslacht, leeftijd, burgerlijke status, beroep, opleiding, type gezin, gezinsinkomen, etniciteit); model 3: toevoeging van correctie voor omgeving covariaten (gebouwgebruik, luchtvervuiling met PM<sub>2,5</sub>, geluid, bevolkingsdichtheid, deprivatie, sociale fragmentatie en groen); model 4: correctie voor als adressen van deelnemers dichtbij elkaar liggen. Model 3 met de 100m buffer was het beste statistisch model (figuur uit Helbich et al. (2020)).

Min en Min (2018a) bestudeerde het effect van NBV op depressieve symptomen (n = 113.119) en op suïcidaal gedrag (n = 152.159) bij Zuid-Koreaanse volwassenen (20-59 jaar). NBV werd gemeten op basis van satellietbeelden verkregen via National Centers for Environmental Information. Ook deze onderzoekers vonden een significant verband tussen NBV en mentale gezondheid. De onderzoekers gebruikten kwartielen om de sterkte van de NBV weer te geven, waarvan Q1 de referentie was ( $\leq 13,19$  nanoWatts/cm<sup>2</sup>/sr). Het ontwikkelen van depressieve symptomen was 29% (OR = 1,29; 95%BI: 1,15-1,46) waarschijnlijker voor volwassenen die blootgesteld werden aan het hoogste niveau van NBV tegenover het laagste niveau NBV (Q4 $\geq 60,44$  nanoWatts/cm<sup>2</sup>/sr), en 27% waarschijnlijker voor suïcidale gedragingen (OR = 1,27; 95%BI: 1,16-1,39).

Er werd recentelijk door Franklin et al. (2020) onderzoek gedaan in het zuiden van Californië (VS) naar een verband tussen bebouwde omgeving en psychosociale stress in de pubertijd. 2290 jongeren van de Children's Health Study namen deel aan de studie. Stress werd beoordeeld op 13 tot 14 jarige leeftijd en op 15 tot 16 jarige leeftijd via de 4-item Perceived Stress Scale (PSS-4). Naast artificieel licht, gemeten via satellietbeelden uit de World Atlas, onderzochten de onderzoekers ook een verband met vervuiling van nabijgelegen wegen, geluid en groene ruimte. Ze zagen dat NBV het sterkst geassocieerd was met stress (via PSS-4-score). Een toename in interkwartielafstand van de graad van NBV was geassocieerd met een toename in PSS-4-score van 0,44. Deze toename was significant groter bij deelnemers die het laagste mediaan huishoudinkomen hadden (Franklin et al., 2020). In Figuur 23 worden de uitkomsten visueel samengevat.



**Figuur 23 Visuele weergave van niet-lineaire associatie tussen NBV (x-as) en gepercipieerde stress (y-as).**

Nota: Model werd gecorrigeerd voor ras, etniciteit, BMI, lengte, gemeenschap, passief roken, luchtpollutie van nabije wegen, groenindex en geluid. Volle lijnen tonen de gemiddelde regressiecurve, en stippellijnen tonen het 95% BI. Mcd/m<sup>2</sup>=millicandela per vierkante meter (figuur uit Franklin et al., 2020).

Er werd ook een artikel teruggevonden dat het effect naging van blauwe verlichting op zelfmoordpogingen ter hoogte van de spoorweg (Ichikawa et al., 2014). Op het einde van platformen in treinstations in Japan wordt blauw licht geïnstalleerd in het idee dat deze verlichting ‘kalmerend’ kan zijn en zelfmoordpogingen zou tegengaan tijdens de nacht. Wegens een zwakke studieopzet kunnen er geen conclusies getrokken worden uit deze studie en is er verder onderzoek nodig. Bv. een waargenomen vermindering in zelfmoordpogingen aan het station zelf wil niet zeggen dat er een effectieve vermindering is in zelfmoorden in de hele regio (Ichikawa et al., 2014).

#### 4.5.2. Bespreking

Deze studies tonen verbanden aan tussen NBV en mentale gezondheid. Hoe hoger de blootstelling aan NBV, hoe meer dit samengaat met stress bij jongeren en met depressieve symptomen of suïcidaal gedrag bij volwassenen (Franklin et al., 2020; Helbich et al., 2020; Min & Min, 2018a). De associatie lijkt niet lineair: vanaf een bepaalde mate van NBV stijgt het verband met mentale gezondheid verder niet meer zo sterk (Franklin et al., 2020; Helbich et al., 2020). Verder vindt Franklin et al. (2020) dat het gevonden verband sterker was bij jongeren uit gezinnen met een laag huishoudinkomen. Het gaat echter om een beperkt aantal studies dat werden teruggevonden. Meer onderzoek is noodzakelijk om de bevindingen te bevestigen.

Een mogelijke verklaring is te wijten aan een verstoring van het dag-nacht ritme ten gevolge van blootstelling aan NBV. Deze verstoring kan leiden tot veranderingen in bepaalde gedeeltes van de hersenen die betrokken zijn bij emoties en gemoedstoestand (zoals het limbisch gedeelte van de hersenen en de hypothalamus – hypofyse – bijniervas) (Min & Min, 2018a).

De besproken studies hadden beperkingen waaronder minder kwaliteitsvolle resultaten in de regressieanalyse wegens zelfrapportage van depressieve symptomen, selectiebias en respons rate bias (Helbich et al., 2020). Informatie over de lichtcondities binnen werden niet in acht genomen via metingen binnen in de slaapkamer, en dat was ook het geval voor andere relevante factoren zoals leefstijl tijdens de avond of voorgeschiedenis van psychologische aandoeningen (Franklin et al., 2020; Helbich et al., 2020; Min & Min, 2018a). De accurateheid van de satellietbeelden die werden gebruikt om de blootstelling aan NBV te meten per deelnemer kan in vraag gesteld worden omdat deze

gebaseerd was op gemiddelde lichtintensiteit in verschillende regio's. Dit geeft een minder goed beeld van de werkelijke waardes, hoeveelheden en patronen van NBV (Min & Min, 2018a). In de studie van Franklin et al. (2020) werd er een verkorte assessment gedaan om de PSS-4 score te berekenen wat een effect kan hebben op de betrouwbaarheid in gerapporteerde stress. De PSS-4 score werd twee keer afgenomen waarbij er een lager aantal respondenten deelnam aan de tweede afname. De data waarop NBV berekend werd, waren ook enkel beschikbaar voor 2015 waardoor de blootstelling aan het licht minder accuraat gekoppeld werd aan de uitkomstdata (Franklin et al., 2020). Tot slot zijn deze studies geen experimentele studies waardoor er geen causale verbanden gelegd kunnen worden.

## 5. Algemene bespreking

In het kort:

- We vinden aanwijzingen uit experimentele studies dat blootstelling aan artificieel licht 's avonds en 's nachts het slaappatroon en het normale dag-nacht ritme van het hormoon melatonine kan veranderen. Ook met gesloten ogen is dit het geval. Voor deze effecten zijn mensen het gevoeligst aan licht uit het blauwe spectrum.
- Op basis van epidemiologische studies zijn er aanwijzingen dat meer NBV in de omgeving van de woonplaats samengaat met een hogere waarschijnlijkheid van verstoring van de slaap, borstkanker, obesitas en mentale gezondheidsproblemen. Verder is er beperkte evidentie dat NBV specifiek uit het blauwe spectrum ook samengaat met een hogere waarschijnlijkheid van prostaatkanker en dikke darm kanker. Er is niet voldoende bewijs dat NBV een oorzaak is van deze gezondheidsproblemen. Het zou ook kunnen dat een andere, niet onderzochte parameters het samengaan van NBV met de gezondheidsuitkomsten verklaart (bv. beeldschermgebruik, luchtvervuiling,...). Indien de verbanden oorzakelijk zijn, dan vermoedt men dat het mechanisme loopt via de effecten van artificieel licht 's avonds en 's nachts op het dag-nacht ritme van ons lichaam en de slaap.
- De verbanden van NBV met verstoring van de slaap bij 50- tot 71-jarigen en stress bij jongeren bleken sterker bij een hogere armoedegrad.

Deze literatuurstudie doorzocht en interpreteerde op een gestructureerde manier het wetenschappelijk onderzoek over het verband tussen NBV en gezondheid bij mensen. Het doel is om hieruit wetenschappelijk onderbouwde adviezen te kunnen geven rond NBV en de omschakeling naar ledverlichting om de gezondheid van mensen maximaal te beschermen.

Ledlampen bevatten meestal meer **licht uit het blauwe spectrum, met kortere golflengtes**, ook al is in principe elke lichtkleur mogelijk. Omwille van de geplande omschakeling naar ledverlichting, vatten we eerst de resultaten samen in verband met licht uit het blauwe deel van het visuele spectrum. Een belangrijke nota hierbij is dat aanwijzingen uit experimentele studies oorzakelijke verbanden kunnen aantonen, maar dat epidemiologische studies hiervoor niet geschikt zijn.

- We vonden een systematische review van experimentele studies, die niet specifiek over buitenverlichting ging maar over licht in het algemeen. De experimenten tonen aan dat blauw licht **reeds bij een lage lichtintensiteit een significante onderdrukking van het hormoon melatonine** kan uitlokken 's nachts **of een stijging van melatonine 's avonds kan uitstellen** (bv. golflengte 472 heeft slechts een bestralingssterkte van  $1.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  nodig om reeds een onderdrukkend effect te hebben op melatonine). Volgens het normale dag-nacht ritme van melatonine, moet de hoeveelheid melatonine 's avonds net stijgen en ervoor zorgen dat we voelen dat het tijd is om te gaan slapen. De concentraties pieken normaal gezien tijdens de nacht, en dragen bij aan een goede nachtrust en aan heel wat herstelprocessen in het lichaam. De onderdrukking van melatonine al vanaf een lage lichtintensiteit aan blauw licht zou dus **negatieve gevolgen kunnen hebben op herstelprocessen in het lichaam en op de slaapduur en -kwaliteit**. Zelfs met gesloten ogen kan licht in de slaapomgeving het melatonine niveau onderdrukken en zorgen voor **meer ondiepe slaap**.

De hoeveelheid melatonine wordt aangestuurd door een soort interne klok in onze hersenen, die via het natuurlijke dag-nacht ritme van licht gesynchroniseerd wordt met de omgeving. De signalen van licht en donker krijgt de interne klok door via het ftopigment 'melanopsine' in het netvlies

van het oog. Melanopsine is net gevoelig voor licht uit het blauwe deel van het spectrum, wat logisch is gezien het blauwe deel dominant is in daglicht (Tähhkämö et al., 2019; Touitou & Point, 2020).

- Verder vonden twee epidemiologische studies dat meer NBV in het blauwe spectrum rond de woonplaats samengaat met een **verhoogde waarschijnlijkheid van prostaatkanker, dikke darm kanker en borstkanker** (Garcia-Saenz et al., 2018; Garcia-Saenz et al., 2020).

Omdat de omschakeling naar ledverlichting nog in zijn kinderschoenen staat wereldwijd, kankerontwikkeling over het algemeen een heel aantal jaren in beslag neemt, en epidemiologische studies heel wat tijd vergen (bv. bij cohortstudies worden deelnemers over enkele jaren gevolgd), is de evidentie specifiek rond ledverlichting momenteel nog beperkt. In de toekomst dient er dan ook nog meer onderzoek te gebeuren om een eventuele impact van NBV met ledverlichting op de gezondheid te kunnen inschatten.

Voor **NBV in het algemeen**, zonder specificering van de lichtkleur, vonden we meer aanwijzingen voor verbanden tussen NBV en allerlei gezondheidsaandoeningen.

- De experimenten met licht in het algemeen (niet specifiek NBV) uit de systematische review tonen aan dat licht met langere golflengtes dan die uit het blauwe deel van het lichtspectrum het **melatonine niveau kan onderdrukken of een stijging van melatonine 's avonds kan uitstellen**. Daar is wel een **hogere lichtintensiteit** voor nodig dan bij blauw licht (Tähhkämö et al., 2019).
- Kijken we enkel naar buitenverlichting, dan zien verschillende epidemiologische studies dat **meer NBV rond de woonplaats samengaat met parameters van slechtere slaap**, zoals:
  - meer voorschriften voor slaapmedicatie inclusief een hogere dagelijkse dosis (Min & Min, 2018b);
  - een significante vermindering in zelf-gerapporteerde slaapduur (Koo et al., 2016; Ohayon & Milesi, 2016; Patel, 2019; Xiao, Gee, et al., 2020);
  - een verlaat slaappatroon (Koo et al., 2016; Ohayon & Milesi, 2016);
  - moeilijkheden om in te slapen, te blijven slapen of ongenoegen over slaapkwaliteit- of kwantiteit in het algemeen (Koo et al., 2016; Ohayon & Milesi, 2016);
  - beperkingen overdag door slechte slaapkwaliteit 's nachts (Koo et al., 2016; Ohayon & Milesi, 2016);
  - andere slaapverstoringen (Koo et al., 2016; Ohayon & Milesi, 2016).

Deze slaapparameters werden telkens slechts in één of enkele studies bestudeerd, maar de veelheid aan verschillende gegevens suggereert dat NBV samengaat met een verstoord slaappatroon.

- Verder is er sterk bewijs vanuit een meta-analyse van 6 studies voor het samengaan van NBV in de omgeving van de woonplaats en een **hogere waarschijnlijkheid van borstkanker** (\*Wu et al., 2021). Het verband is het duidelijkste bij postmenopauzale vrouwen en bij oestrogeen receptor positieve borsttumoren (Lai et al., 2021; Wu et al., 2021; Xiao, James, et al., 2020). Voor prostaatkanker werden tegenstrijdige resultaten gevonden (Garcia-Saenz et al., 2018; K. Y. Kim et al., 2017), terwijl er voor dikke darm kanker geen verband gevonden werd met NBV in het volledige visuele spectrum (Garcia-Saenz et al., 2020).
- Ook is er evidentie voor het samengaan van een **hoger risico op overgewicht of zwaarlijvigheid** en wonen in gebieden met hogere NBV vanuit 3 epidemiologische studies (Koo et al., 2016; Zhang et al., 2020; Abay & Amare, 2018).
- Voor oogfunctie vonden we slechts één geschikt artikel, waarin geen verband tussen NBV en bijziendheid van het oog gevonden werd.
- Op vlak van mentale gezondheid werd in 2 studies bewijs gevonden voor het samengaan van wonen in gebieden met hogere NBV met **hoger risico op depressieve symptomen** (Helbich et al., 2020; Min & Min, 2018a), en in 1 studie met **suïcidale gedragingen** (Min & Min, 2018a). Een studie in jongeren vond een hoger voorkomen van **stress** bij wonen in gebieden met hogere NBV (Franklin et al., 2020).

Naast effecten op individuen, hebben de hierboven beschreven gezondheidseffecten samen heel wat **impact op gezondheid en welzijn in onze maatschappij**. Om te beginnen is slaap een basisbehoefte van mensen, en is een goede slaapkwaliteit essentieel voor herstelprocessen, ons mentaal welbevinden en onze prestaties overdag. Ook een normaal circadiaans ritme van het hormoon melatonine lijkt essentieel: onderdrukte melatonine niveaus door licht 's nachts zijn de eerste stappen in de onderliggende mechanismen die men vermoed voor het verband tussen NBV en borstkanker, prostaatkanker, dikke darm kanker en obesitas. Borstkanker is daarbij de meest gediagnosticeerde kanker voor vrouwen in België, gevolgd door dikke darm kanker. Bij mannen is prostaatkanker de meest gediagnosticeerde kanker in België, met dikke darm kanker op de derde plaats in de ranking. Ook overgewicht en obesitas is een veelvoorkomend probleem in België. Ze zijn beiden zelf een risicofactor voor heel wat chronische en acute gezondheidsproblemen zoals suikerziekte en hart- en vaatziekten. **België**, en zeker **Vlaanderen**, is één van de **koplopers wereldwijd op vlak van NBV**. Als we veronderstellen dat NBV een oorzakelijke factor kan zijn voor al deze gezondheidseffecten, dan zou het nuttig zijn om te weten wat de huidige blootstelling aan NBV in Vlaanderen en België betekent in termen van gezondheidsimpact voor de maatschappij. Verder onderzoek is nodig om dosis-effect relaties te bestuderen en te extrapoleren voor de situatie in Vlaanderen en België.

Zoals reeds vermeld wijzen de epidemiologische studies beschreven in deze literatuurstudie op het **sámengaan** van hogere NBV met een grotere waarschijnlijkheid op gezondheidseffecten. Ze geven **geen bewijs** voor een **oorzakelijk verband**, al beschrijven we wel enkele longitudinale studies die iets beter in staat zijn om een oorzakelijk verband te suggereren. Maar zelfs in dat geval zou het samengaan van NBV en gezondheidseffecten verklaard kunnen worden door een andere, mogelijks nog onbekende parameter. Zo gaat meer NBV ook samen met een hogere verstedelijkingsgraad, een hogere bevolkingsdichtheid, meer economische activiteit en bijhorende omgevingsfactoren zoals luchtverontreiniging, geluidpollutie en de hoeveelheid groen in de omgeving (bv. Huss et al. (2019)). Sommige studies gebruiken NBV gemeten met satellietbeelden zelfs als maat voor de verstedelijkingsgraad (Abay & Amare, 2018). Een hogere verstedelijkingsgraad zou ook kunnen samengaan met specifieke leefstijlfactoren zoals meer avondactiviteiten buitenshuis, meer gebruik van orale contraceptie of meer schermgebruik. Voor al deze parameters werd slechts deels gecorrigeerd in de beschreven studies. Wel corrigeerden bijna alle studies voor minstens één parameter die de bevolkingsdichtheid inschat. Volgens Ohayon en Milesi (2016) was het verband van NBV met slaapparameters sterker dan dat van bevolkingsdichtheid met slaapparameters, dat niet statistisch significant was. Een aantal studies corrigeerden ook voor luchtverontreiniging, geluidsoverlast of leefstijlfactoren, waarbij het verband tussen NBV en de bestudeerde gezondheidsuitkomst toch behouden bleef (Franklin et al., 2020; Helbich et al., 2020; Kim et al., 2017; Ohayon & Milesi, 2016; Xiao, Gee, et al., 2020). Maar zelfs dan kan de mogelijkheid niet uitgesloten worden dat een **andere verklarende parameter** nog ontbrak in de analyse.

Om oorzakelijke verbanden aan te tonen, zijn experimentele studies nodig die voldoen aan een heel aantal criteria. De negatieve invloed van nachtelijk licht op melatonineniveaus en slaap werd wel met experimentele studies onderzocht en aangetoond; de studies verschilden echter sterk qua methodologie en onderzoeksopzet waardoor de sterkte van de bewijskracht van de resultaten onduidelijk is. Verder werd er niet specifiek gekeken naar buitenlicht (Tähhkämö et al., 2019). Obesitas en kanker ontwikkelen zich traag, meestal over een lange periode. Het is daarom niet mogelijk en ethisch om hierrond experimentele studies op te zetten. Vanuit dierexperimenten is er wel voldoende bewijs beschikbaar dat veranderingen in licht en donker schema's voor hen carcinogeen zijn (Ward et al., 2019). Volgens het IARC is er ook voldoende bewijskracht voor de carcinogeniteit van verstoringen van het circadiaans ritme door het werken in nachtploegen en door veranderingen in het licht-donker schema, met een verhoogd risico op prostaat-, borst- en dikke darm kanker (Ward et al., 2019). De auteurs van de beschreven epidemiologische studies suggereren daarom dat ook blootstelling aan NBV carcinogeen is, waarbij het mechanisme loopt via de verstoring van het circadiaans ritme.



Een natuurlijke reflex bij de hypothese dat NBV een oorzaak zou zijn van gezondheidsproblemen, is dat we doorgaans onze huizen en zeker slaapkamers afschermen voor deze NBV met **verduisterende oplossingen**. In het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek dat afgenomen werd in Vlaanderen in 2018, is de meest genomen actie tegen lichthinder 'meer aandacht besteden aan het sluiten van deuren, ramen, gordijnen of rolluiken' (De Martelaere, 2018). Het is ook een belangrijke bedenking in de wetenschappelijke studies die gebruik maken van satellietbeelden om NBV in te schatten op het woonadres van deelnemers: in welke mate worden deelnemers werkelijk blootgesteld aan de NBV in de omgeving van hun woonst? Van de studies die gebruik maken van satellietbeelden om NBV in te schatten, is er geen enkele studie die gegevens ter beschikking heeft rond het gebruik van verduisterende oplossingen voor de leef- en slaapruijnte bij de deelnemers. Anderzijds zijn oplossingen die zorgen voor een totaalverduistering van licht van buitenaf duur. Het is niet voor iedereen mogelijk om deze aan te kopen. De studie van Xiao, Gee, et al. (2020) bij 50- tot 71-jarigen vond dat het verband tussen NBV en kortere slaapduur sterker was in regio's met een hogere armoederatio. Ook het positieve verband tussen NBV en stress bij jongeren was sterker bij deelnemers met het laagste inkomen in het gezin (Franklin et al., 2020). Eén van de hypothesen van de auteurs om deze bevinding te verklaren is dat mensen in armoede geen middelen hebben om deftige verduisterende oplossingen te voorzien (Xiao, Gee, et al., 2020). Andere mogelijke hypothesen zijn een andere leefstijl, een ander werkritme of andere aspecten van dichtbevolkte stedelijke gebieden dan een hoge mate van NBV. Toekomstig onderzoek dient dit verder uit te zoeken. Als de verklaring zou liggen in het ontbreken van verduisterende oplossingen, dan sterkt deze bevinding de hypothese dat NBV één van de oorzaken is van slaapverstoring en stress.

Verder vonden Ohayon en Milesi (2016) in een grootschalige studie dat wie volgens satellietbeelden in een omgeving woont met hogere NBV, ook vaker een te lichte slaapkamer rapporteert. Een beperking van deze studie is wel dat zelf-rapportage van hoeveelheid licht in de slaapkamer heel subjectief is. In twee kleinschaligere studies werd echter geen verband weerhouden tussen lichtblootstelling gemeten met lichtmeters en NBV in de omgeving van de woning gemeten op basis van satellietbeelden (Rea et al., 2011; Huss et al., 2019). Volgens Huss et al. (2019) zijn de verbanden tussen NBV gemeten met satellietbeelden en gezondheidsuitkomsten daarom eerder te verklaren door andere omgevingsparameters, zoals hierboven al geschreven (luchtvervuiling, groen in de omgeving,...), want in hun studie correleerden deze zeer sterk met de via satelliet gemeten NBV. Een bedenking bij de studies van Huss et al. (2019) en Rea et al. (2011) is dat ze heel wat inspanning vroegen van deelnemers, en dat de studiepopulatie mogelijk niet representatief is voor de hele bevolking (bv. waren er voldoende deelnemers die geen financiële middelen hebben om verduisterende opties te voorzien?). In de toekomst is grootschalig onderzoek in alle lagen van de bevolking en in verschillende type gebieden nodig om de correlatie tussen NBV met satellietbeelden en blootstelling van individuen aan licht via lichtmeters verder te onderzoeken. Verder is het ook nuttig om de invloed van NBV op vroegtijdige gezondheidseffecten (bv. DNA-schade) in grootschalig onderzoek te meten aan de hand van lichtmeters.

Nog een andere veelgemaakte bedenking is dat **met ogen toe slapen** het licht ook buiten het lichaam houdt. Experimenteel onderzoek toont echter aan dat dit een misvatting is: zelfs bij verlichtingssterktes van slechts 5 lux wordt er een effect gezien op de slaap en melatonine niveaus. Dit doet vermoeden dat het fotopigment melanopsine blauw licht kan waarnemen door gesloten oogleden (Tähhkämö et al., 2019). Nog straffer, zelfs als je een slaapmasker gebruikt zou je lichaam mogelijks nog blootgesteld kunnen worden aan licht in de omgeving. Preliminair onderzoek suggereert dat **huidcellen** hun eigen regeling qua circadiaans ritme hebben en dat ze **zelf blauw licht** kunnen **waarnemen**. Blauw licht dat 's nachts op je huid schijnt, zou de herstelprocessen in de huid die normaal 's nachts plaatsvinden verhinderen (Dong et al., 2019; we vonden slechts 2 artikels rond huid bij de literatuurdoorzoeking, waardoor de keuze werd gemaakt om deze niet in detail te bespreken). Daarnaast toont experimenteel onderzoek ook dat **blootstelling aan licht vlak voor het slapengaan** een invloed heeft op het circadiaans ritme en de slaap (Tähhkämö et al., 2019). Dit staat dus los van slapen met gesloten ogen of een te lichte slaapkamer. Ohayon en Milesi (2016) veronderstellen dat

blootstelling aan NBV 's avonds de avondsecretie van melatonine onderdrukt waardoor het gevoel van slaperigheid uitblijft en het slapengaan uitgesteld wordt.

In deze literatuurstudie hebben we enkel ingezoomd op verbanden tussen gezondheid en buitenverlichting. Maar burgers worden natuurlijk ook blootgesteld aan **binnenverlichting** (die ook ledverlichting kan zijn) en aan licht van **beeldschermen** die ze gebruiken (bv. smartphone, laptops, televisie). De lichtintensiteit waaraan mensen blootgesteld worden door deze verlichtingsbronnen zal vermoedelijk heel wat hoger zijn dan die van NBV. Een beperking van de besproken studies die NBV meten op basis van satellietbeelden, is dat ze niet corrigeren voor blootstelling aan verlichting van binnenruimtes en van beeldschermen. Xiao, Gee, et al. (2020) verwacht dat de effecten enkel duidelijker zouden zijn als er wel gecorrigeerd zou worden voor blootstelling binnen (Xiao, Gee, et al., 2020). Deze hypothese dient in de toekomst best grondig onderzocht en onderbouwd te worden.

Er zijn dus heel wat bedenkingen bij de hypothese dat NBV een oorzaak zou zijn van de besproken gezondheidsuitkomsten slaap, kanker, obesitas en mentale gezondheidsproblemen. In deze literatuurstudie wordt de term blootstelling aan NBV gebruikt, maar een belangrijke nuance daarbij is dat het vaak niet gaat over de **werkelijke blootstelling** aan nachtelijke verlichting, maar over een schatting van de blootstelling aan NBV.

Wat nog onduidelijk is, is hoe de **afstand** van de regio **tot de evenaar** zich verhoudt tot gezondheidsuitkomsten. Clarke et al. (2021) en Ritonja et al. (2020) benoemen de afstand tot de evenaar als mogelijke verklaring van inconsistente resultaten. Mensen in noordelijker gelegen gebieden zijn sowieso meer blootgesteld aan natuurlijke, geleidelijk wisselende licht-donker schema's, met name minder lang daglicht in de winter en lange periode van daglicht in de zomer. Dit werd niet verder bestudeerd binnen de huidige literatuurstudie.

Verder is er in de literatuur heel wat discussie over de verschillende soorten satellietbeelden en met welke de NBV het best in kaart kan gebracht worden. Er is bezorgdheid over lage ruimtelijke resolutie van de beelden, lage radiometrische resolutie, een saturatie effect in sterk verlichte regio's, verstoring door lichtreflecties, het niet meten van horizontaal licht en gebrek aan kalibratie aan boord van de satellieten (Min & Min, 2018b). Ook zijn standaard satelliet sensoren niet gevoelig voor het blauwe deel uit het lichtspectrum, wat een groot minpunt is omwille van de huidige verleding en de gevoeligheid van mensen aan blauw licht. Aan de hand van foto's genomen door digitale camera's vanuit het Internationaal Space Station zou het blauwe licht wel gemeten kunnen worden. Met deze techniek werd reeds een spectrale shift gezien tussen 2012 en 2020 in Europa, met een stijging van NBV in het blauwe spectrum (De Miguel et al., 2022). Met de huidige verleding van de openbare verlichting, is het dus belangrijk dat toekomstig onderzoek dit blauwe deel van het spectrum effectief kan de gezondheidsrisico's correct te kunnen evalueren.

## 6. Sterktes en beperkingen van deze literatuurstudie

Deze literatuurstudie doorzocht de wetenschappelijke literatuur op een systematische manier om de huidige wetenschappelijke kennis te beschrijven over de relatie tussen NBV en fysieke en mentale gezondheid van mensen. Er werd hiervoor een groot aantal items (3.245) gescreend op hun relevantie voor deze onderzoeksvraag, wat een grote sterkte is van de huidige literatuurstudie. De studie kent ook beperkingen. Zo werd de doorzoeking van de literatuur beperkt tot de databanken 'MEDLINE' en 'PubMed Central'. Narratieve reviews werden niet gescreend op ontbrekende referenties, omdat dit niet haalbaar was binnen het huidige project. We weten dus niet zeker of alle literatuur gevonden werd. Daarnaast ontbreekt ook de meest recente literatuur, omdat de zoekopdracht gebeurde in april 2021. Dit topic is een heel recent onderzoeksonderwerp, te merken aan de recente publicatiedatums van de belangrijkste referenties in deze literatuurstudie. Vermoedelijk werd er ondertussen nog nieuwe literatuur over dit onderwerp gepubliceerd. Als laatste punt behoorde de invloed van NBV op veiligheid en perceptie van veiligheid niet tot het onderwerp van deze literatuurstudie. Het is belangrijk te vermelden dat dit twee cruciale punten zijn voor burgers, en dat deze evengoed meegenomen dienen te worden in de evaluatie van openbare verlichting. Experts in dit thema deden hierover reeds een literatuurstudie en schreven een praktijkgids in het kader van het Europees 'Smart Light Concepts' (SLIC) project (Struyf et al., 2019; Struyf et al., 2020). Naast gezondheid, veiligheid en perceptie van veiligheid dient er ook rekening gehouden te worden met effecten van NBV op de biodiversiteit; hiervoor verwijzen we naar de andere literatuurstudie in opdracht van de 5 provincies en het IPKC en uitgevoerd door het Instituut voor Natuur en Bosonderzoek (INBO) ([pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit](https://pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit)).

## 7. Richtingen voor toekomstig onderzoek

We stippen enkele richtingen voor verder onderzoek over dit topic aan:

- De evidentie specifiek rond ledverlichting is momenteel nog beperkt. Toekomstig onderzoek is nodig om de maatschappelijke gezondheidsimpact van verdere omschakeling naar ledverlichting correct te kunnen inschatten. Daarbij zou het goed zijn om:
  - gebruik te maken van lichtmeters om de werkelijke blootstelling aan licht en lichtkleur te onderzoeken in plaats van een schatting van blootstelling aan NBV op basis van satellietbeelden. Zo kan ook het aandeel van blootstelling aan binnen licht en licht van schermen in de relatie met gezondheidseffecten geëvalueerd worden;
  - te bevragen bij deelnemers van dit soort onderzoek of, welke en wanneer verduisterende oplossingen worden gebruikt als antwoord op lichthinder die van buiten de woning binnen schijnt;
  - te zorgen dat alle lagen van de bevolking uit verschillende types gebieden (landelijk/stedelijk) vertegenwoordigd zijn;
  - de relatie tussen NBV en vroegtijdige gezondheidseffecten te bestuderen (bv. DNA schade);
  - dosis-respons curves te kunnen berekenen;
  - de dosis-respons curves te extrapoleren om te weten wat de huidige blootstelling aan NBV in Vlaanderen en België betekent in termen van gezondheidsimpact voor de maatschappij.
- Het dient verder onderzocht te worden wat de redenen zijn van een sterker positief verband van NBV met kortere slaapduur en stress bij mensen met een lager inkomen. Kan dit verklaard worden door een gebrek aan middelen voor het aankopen van verduisterende oplossingen? Deze hypothese zou best ook onderzocht worden voor de relatie van NBV met de andere gezondheidsuitkomsten. Een eerste verkenning van dit topic voor Vlaanderen zou kunnen gebeuren via het volgende Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek. Er kan een vraag toegevoegd worden over de reeds gebruikte maatregelen in de leefruimtes en slaapkamers om licht van buitenaf te weren in huis (slaapmasker, gordijnen, rolgordijnen, rolluiken...). De antwoorden op deze vraag kunnen dan in verband gebracht worden met de socio-economische status van de deelnemers, en de wens om een donkere nacht te hebben.
- Sinds het najaar 2022 gebeurde er een uniek 'experiment': omwille van de hoge elektriciteitsprijzen werd openbare verlichting in veel gemeenten uitgezet gedurende delen van de week (bv. tussen 23u en 5u elke maandag- tot donderdagnacht). Het zou nuttig zijn om dit experiment te evalueren op verschillende domeinen:
  - op vlak van slaapkwaliteit en het gebruik van slaapmedicatie bij burgers die in gebieden wonen waar het licht gedoofd werd. Effecten op slaap zijn het eerste gezondheidsgevolg van de effecten van NBV op melatonineniveau 's.
  - op vlak van veiligheid (cijfers m.b.t. ongevallen en criminaliteit) en perceptie van veiligheid;
  - op vlak van effecten op biodiversiteit.

## 8. Aanbevelingen

We vinden aanwijzingen dat blootstelling aan licht 's avonds en 's nachts negatieve gevolgen kan hebben op slaap en melatonineniveau 's bij de mens. Ook voor andere gezondheidseffecten zoals kanker, overgewicht en mentaal welbevinden zijn er aanwijzingen voor een hoger voorkomen bij meer NBV, al kan er niet met zekerheid gesteld worden dat NBV één van de oorzaken is.

Vanuit deze bevindingen en het gegeven dat Vlaanderen één van de koplopers is in lichtvervuiling, formuleren we enkele aanbevelingen:

- **Openbare verlichting enkel waar en wanneer nodig.**

In 2019 stemde het Vlaams Parlement in met de resolutie 'betreffende het stimuleren van slimme en duurzame openbare verlichting in Vlaanderen'. Daarin wordt ook vermeld dat er actie nodig is om de natuurlijke duisternis weer ruimte te geven in Vlaanderen (Voorstel van resolutie 1913 (2018-2019) nr.1 | Vlaams Parlement, 2019). Ter preventie van slaapproblemen en uit voorzorgsprincipe voor de andere gezondheidsproblemen, bevelen we sterk aan om de transitie naar slimme openbare verlichting en meer duisternis in Vlaanderen te realiseren. De resultaten van het Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek tonen dat hiervoor draagvlak is bij de burgers. Slechts 30% van de bevrraagden vindt dat de woonomgeving steeds volledig verlicht moet zijn als het donker is. De overige deelnemers vinden dat de lichten in de woonomgeving gedimd (51%) of gedoofd (15%) moeten worden tijdens de nacht (bv. 24 – 5u), of dat er zelfs helemaal geen verlichting nodig is (4%). Ook vinden 6 op 10 deelnemers het belangrijk dat de nachtelijke hemel donker is, iets wat niet aansluit bij de realiteit in Vlaanderen en België.

Het wordt daarom aanbevolen dat er gedoofd wordt waar en wanneer dit kan, of als het niet anders kan, gedimd tot de laagst haalbare intensiteit. Met behulp van expertise vanuit verschillende domeinen (verkeersveiligheid, criminaliteit, biodiversiteit en gezondheid) dient beslist worden op welke plaatsen en tijdstippen openbare verlichting nodig is om een voldoende veilige omgeving te creëren. Alternatieven kunnen overwogen worden, zoals het gebruik van reflecterende wegmarkeringen of lichten die aanschietsen als er iemand passeert met behulp van slimme technologie. Heel wat gemeenten kiezen ook om te doven tijdens nachtelijke uren op weekdays maar niet op weekenddagen, omdat er dan meer mensen zich verplaatsen 's nachts.

Om hierin beslissingen te kunnen nemen, is het nuttig om objectieve data te verzamelen over het aantal weggebruikers tijdens de donkere uren (bv. via telslangen; voor én na het installeren van extra verlichting of aanpassingen in de verlichting op een route;...).

- **Zorg dat verlichtingsarmaturen zo geïmponeerd zijn dat er geen licht kan binnenvallen in ramen van woningen.**

Openbare besturen evalueren best alle huidige openbare verlichting vóór de omschakeling naar ledverlichting gebeurt. Wanneer verlichtingsarmaturen en hun positie toelaten dat licht binnendringt via (slaapkamer)ramen in woningen van burgers, dan wordt deze verlichtingspaal bij voorkeur niet meer gebruikt. Indien dit niet haalbaar is, dan wordt best een aangepast armatuur en plaatsing gebruikt die lichtstralen richting ramen verhindert. Verder is het ook belangrijk om de lichtkleur en -intensiteit te wijzigen indien mogelijk, waarbij zo weinig mogelijk licht uit het blauwe spectrum uitgestraald wordt. Verder blijft het eerste advies ook hier gelden: doof verlichting waar en wanneer dit kan.

- **Sensibiliseer àlle andere beheerders van nachtelijke buitenverlichting.**

De extreme lichtvervuiling in Vlaanderen kan enkel samen aangepakt worden, doordat elk type beheerder van nachtelijke buitenverlichting kritisch nadenkt over de noodzaak aan verlichting en de mogelijkheid van slimme aanpassingen. Een vermindering van NBV zorgt zowel voor een vermindering van de totale lichtvervuiling als van blauw licht. Zo kunnen meerdere actoren samen streven naar het

terugwinnen van duisternis in Vlaanderen, zodat ieders lichaam de kans krijgt om de nodige rust- en herstelprocessen te laten plaatsvinden en gezondheidsproblemen te voorkomen.

Een sensibiliseringscampagne is nodig om alle beheerders van nachtelijke buitenverlichting (bv. verlichting van wegen, industrie en KMO terreinen, landbouw, sportterreinen, horeca en handel, reclameverlichting en particuliere verlichting) aan te manen om de noodzaak aan deze verlichting kritisch te evalueren. Vragen die kunnen gesteld worden zijn:

- Waar is er verlichting die onnodig is en dus verwijderd kan worden?
- Is het voldoende als nachtelijke gebruikers van het terrein zelf hun omgeving verlichten via een aangepaste uitrusting?
- Is het mogelijk om de bestaande verlichting om te schakelen naar slimme verlichting, die enkel brandt wanneer het nodig is (bv. enkel wanneer iemand een terrein kruist)? Zo niet, is het mogelijk om enkel te verlichten op tijdstippen gedurende de avond en nacht die verlichting vereisen, in plaats van de hele periode van duisternis?
- Schijnt de verlichting binnen via (slaapkamer)ramen in woningen, en zo ja, kan dit aangepast worden?
- Is het mogelijk om licht uit het blauwe spectrum te weren uit verlichting die niet aangepast kan worden, en de intensiteit zo laag mogelijk te houden?

- **Sensibiliseer burgers rond de invloed van blootstelling aan (blauw) licht 's avonds en 's nachts op de slaapkwaliteit.**

Er is ook sensibilisering nodig bij burgers rond de invloed van blootstelling aan artificieel (blauw) licht 's avonds en gedurende de nacht op de slaapkwaliteit, en wat daarvan verdere gezondheidsgevolgen kunnen zijn. In woonwijken met sterke lichtvervuiling waarbij geen verdere aanpassingen aan nachtelijke buitenverlichting mogelijk zijn, adviseren we om te bekijken of sociaal kwetsbare groepen financieel ondersteund kunnen worden om een voldoende verduisterde woning te bekomen 's avonds en 's nachts. Als burgers dit wensen te gebruiken tijdens het slapen, kunnen slaapmaskers ook bijdragen. Op die manier wordt er ook gewerkt aan een verbetering van gezondheidsongelijkheid (principe van universeel proportionalisme).

- **Zorg voor gepaste wetgeving en handhaving.**

Er dient bekeken te worden of bovenstaande aanbevelingen omgezet kunnen worden in wettelijke verplichtingen (bv. via concrete normen) en of er meer handhaving kan gebeuren van reeds bestaande wetgeving. Een voorbeeld hierbij is de toegestane sterkte, locatie, tijdsperiode en oppervlakte van reclame op een ledscherm, die volgens onderzoek het zicht van bestuurders kan verhinderen. Deze kan ook erg hinderlijk zijn bij het binnen schijnen in woningen.

Aanbevelingen specifiek rond de bescherming van de biodiversiteit kunnen teruggevonden worden in het rapport van de literatuurstudie van INBO ([pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit](http://pureportal.inbo.be/nl/publications/effecten-van-nachtelijke-verlichting-op-biodiversiteit)).

## Referenties

- Abay, K. A., & Amare, M. (2018). Night light intensity and women's body weight: Evidence from Nigeria. *Economics and Human Biology*, 31, 238–248.  
<https://doi.org/10.1016/j.ehb.2018.09.001>
- Andersen, Z. J., Jørgensen, J. T., Elsborg, L., Lophaven, S., Backalarz, C., Laursen, J., Pedersen, T. B., Simonsen, M. K., Bräuner, E. V., & Lynge, E. (2018). Long-term exposure to road traffic noise and incidence of breast cancer: a cohort study. *Breast Cancer Research*, 20(1).  
<https://doi.org/10.1186/s13058-018-1047-2>
- Arora, T., Hussain, S., Lam, K., Yao, G., Thomas, G. N., & Taheri, S. (2013). Exploring the complex pathways among specific types of technology, self-reported sleep duration and body mass index in UK adolescents. *International Journal of Obesity*, 37(9), 1254–1260.  
<https://doi.org/10.1038/ijo.2012.209>
- Bauer, S. M., Wagner, S. E., Burch, J. L., Bayakly, R., & Vena, J. E. (2013). A case-referent study: light at night and breast cancer risk in Georgia. *International Journal of Health Geographics*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.1186/1476-072x-12-23>
- Belgian Cancer Registry — Tabellen op jaarbasis. (z.d.).  
<https://kankerregister.org/default.aspx?PagId=100>
- Belgisch instituut voor verlichtingskunde. (z.d.). *Driejaarlijks overzicht 2020: openbare verlichting in België* [Presentatieslides]. <https://ibe-biv.be/>. <https://ibe-biv.be/>
- Calamaro, C. J., Yang, K., Ratcliffe, S. J., & Chasens, E. R. (2012). Wired at a Young Age: The Effect of Caffeine and Technology on Sleep Duration and Body Mass Index in School-Aged Children. *Journal of Pediatric Health Care*, 26(4), 276–282.  
<https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2010.12.002>
- Cancer burden in Belgium 2004-2017. (2020). *Belgian Cancer Registry*. <https://kankerregister.org/>
- Chahal, H. S., Fung, C., Kuhle, S., & Veugelers, P. J. (2013). Availability and night-time use of electronic entertainment and communication devices are associated with short sleep duration and

- obesity among Canadian children. *Pediatric obesity*, 8(1), 42–51.  
<https://doi.org/10.1111/j.2047-6310.2012.00085.x>
- Clarke, R., Amini, H., James, P., Von Euler-Chelpin, M., Jørgensen, J. T., Mehta, A., Cole-Hunter, T., Westendorp, R. G. J., Mortensen, L. H., Loft, S., Brandt, J., Hertel, O., Ketzler, M., Backalarz, C., Andersen, Z. J., & Lim, Y. (2021). Outdoor light at night and breast cancer incidence in the Danish Nurse Cohort. *Environmental Research*, 194, 110631.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110631>
- Collard, B. (z.d.). *Driejaarlijks overzicht 2020 Openbare verlichting in België* [Presentatieslides]. Belgisch instituut voor Verlichtingskunde. <https://ibe-biv.be/event/reconnecting-21-oktober-2021/>
- Coogan, A. N., Cleary-Gaffney, M., Finnegan, M. K., McMillan, G., González, A., & Espey, B. R. (2020). Perceptions of Light Pollution and its Impacts: Results of an Irish Citizen Science Survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5628.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17155628>
- De Barros Marangoni, L. F., Davies, T. E., Smyth, T. J., Rodríguez, A., Hamann, M. T., Duarte, C., Pendoley, K., Berge, J., Maggi, E., & Levy, O. (2022). Impacts of artificial light at night in marine ecosystems—A review. *Global Change Biology*, 28(18), 5346–5367.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.16264>
- De Martelaere, D., Van Der Donck N. (2018). “Uitvoeren van een schriftelijke enquête ter bepaling van het percentage gehinderden door geur, geluid en licht in Vlaanderen – SLO-4”.  
[https://archieff.algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/bitstream/handle/acd/229925/20181113\\_eindrapport\\_SLO4.pdf](https://archieff.algemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/bitstream/handle/acd/229925/20181113_eindrapport_SLO4.pdf)
- De Miguel, A. S., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S. A., & Gaston, K. J. (2022). Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe. *Science Advances*, 8(37). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abl6891>



Drieskens. (z.d.). *Gezondheidsenquête 2018: Voedingsstatus*. [sciensano.be](https://www.sciensano.be).

<https://www.sciensano.be/nl/biblio/gezondheidsenquete-2018-voedingsstatus>

Dong, K., Goyarts, E.C., Pelle, E., Trivero, J., Permodet, N. (2019). Blue light disrupts the circadian rhythm and create damage in skin cells. *International Journal of Cosmetic Science*, 41(6).

Dube, N., Khan, K., Loehr, S., Chu, Y., & Veugelers, P. J. (2017). The use of entertainment and communication technologies before sleep could affect sleep and weight status: a population-based study among children. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1). <https://doi.org/10.1111/ics.12572>.

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D. M., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>

Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., Martinsons, C., & Hicks, D. G. (2020). Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>

Fluvius. (2022). Rapport VEKA: openbare verlichting Vlaanderen. In *Fluvius*. Geraadpleegd op 29 november 2022, van <https://www.fluvius.be/nl>

Franklin, M., Yin, X., McConnell, R., & Fruin, S. (2020). Association of the Built Environment With Childhood Psychosocial Stress. *JAMA network open*, 3(10), e2017634. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.17634>

Garcia-Saenz, A., De Miguel, A. S., Espinosa, A., Costas, L., Aragonés, N., Tonne, C., Moreno, V., Pérez-Gómez, B., Valentín, A., Martín, M., Castaño-Vinyals, G., Aubé, M., & Kogevinas, M. (2020). Association Between Outdoor Light-at-night Exposure and Colorectal Cancer in Spain. *Epidemiology*, 31(5), 718–727. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000001226>

Garcia-Saenz, A., De Miguel, A. S., Espinosa, A., Valentín, A., Aragonés, N., Llorca, J., Amiano, P., Martín, V., Guevara, M., Capelo, R., Tardón, A., Peiró-Pérez, R., Jiménez-Moleón, J. J., Roca-Barceló, A., Pérez-Gómez, B., Dierssen-Sotos, T., Fernández-Villa, T., Moreno-Iribas, C.,

- Moreno, V., . . . Kogevinas, M. (2018). Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain Study). *Environmental Health Perspectives*, 126(4), 047011. <https://doi.org/10.1289/ehp1837>
- Gaston, K. J., Bennie, J., & Davies, T. E. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological Reviews*, 88(4), 912–927. <https://doi.org/10.1111/brv.12036>
- Giammattei, J., Blix, G. G., Marshak, H. H., Wollitzer, A. O., & Pettitt, D. J. (2003). Television Watching and Soft Drink Consumption. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 157(9), 882. <https://doi.org/10.1001/archpedi.157.9.882>
- Gisle, G., Driekens, S., Demarest, S., & Van der Heyden, J. (2020, januari). *Gezondheidsenquête 2018: Geestelijke gezondheid*. [sciensano.be](https://www.sciensano.be). <https://www.sciensano.be/nl/biblio/gezondheidsenquete-2018-geestelijke-gezondheid>
- Guggenheim, J. A., Hill, C., & Yam, T. (2003). Myopia, genetics, and ambient lighting at night in a UK sample. *British Journal of Ophthalmology*, 87(5), 580–582. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.5.580>
- Helbich, M., Browning, M. H. E. M., & Huss, A. (2020). Outdoor light at night, air pollution and depressive symptoms: A cross-sectional study in the Netherlands. *Science of The Total Environment*, 744, 140914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140914>
- Heyden, V. D., & Charafeddine, R. (2013). *Gezondheidsenquête 2013. Rapport 1: Gezondheid en Welzijn*. [sciensano.be](https://www.sciensano.be). <https://www.sciensano.be/nl/biblio/gezondheidsenquete-2013-rapport-1-gezondheid-en-welzijn>
- Hickie, I. B., Naismith, S. L., Robillard, R., Scott, E. M., & Hermens, D. F. (2013). Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression. *BMC Medicine*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-79>

- Hurley, S., Goldberg, D., Nelson, D. R., Hertz, A., Horn-Ross, P. L., Bernstein, L., & Reynolds, P. (2014). Light at Night and Breast Cancer Risk Among California Teachers. *Epidemiology*, *25*(5), 697–706. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000137>
- Hurley, S., Nelson, D. R., Garcia, E., Gunier, R. B., Hertz, A., & Reynolds, P. (2013). A cross-sectional analysis of light at night, neighborhood sociodemographics and urinary 6-sulfatoxymelatonin concentrations: implications for the conduct of health studies. *International Journal of Health Geographics*, *12*(1), 39. <https://doi.org/10.1186/1476-072x-12-39>
- Huss, A., Van Wel, L., Bogaards, L., Vrijkotte, T. G. M., Wolf, L., Hoek, G., & Vermeulen, R. (2019). Shedding Some Light in the Dark—A Comparison of Personal Measurements with Satellite-Based Estimates of Exposure to Light at Night among Children in the Netherlands. *Environmental Health Perspectives*, *127*(6), 067001. <https://doi.org/10.1289/ehp3431>
- Ichikawa, M., Inada, H., & Kumeji, M. (2014). Reconsidering the effects of blue-light installation for prevention of railway suicides. *Journal of Affective Disorders*, *152–154*, 183–185. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.09.006>
- James, P., Bertrand, K. A., Hart, J. E., Schernhammer, E. S., Tamimi, R. M., & Laden, F. (2017). Outdoor Light at Night and Breast Cancer Incidence in the Nurses' Health Study II. *Environmental Health Perspectives*, *125*(8), 087010. <https://doi.org/10.1289/ehp935>
- Keshet-Sitton, A., Or-Chen, K., Huber, E., & Haim, A. (2017). Illuminating a Risk for Breast Cancer: A Preliminary Ecological Study on the Association Between Streetlight and Breast Cancer. *Integrative Cancer Therapies*, *16*(4), 451–463. <https://doi.org/10.1177/1534735416678983>
- Keshet-Sitton, A., Or-Chen, K., Yitzhak, S., Tzabary, I., & Haim, A. (2016). Can Avoiding Light at Night Reduce the Risk of Breast Cancer? *Integrative Cancer Therapies*, *15*(2), 145–152. <https://doi.org/10.1177/1534735415618787>
- Keshet-Sitton, A., Or-Chen, K., Yitzhak, S., Tzabary, I., & Haim, A. (2017). Light and the City: Breast Cancer Risk Factors Differ Between Urban and Rural Women in Israel. *Integrative Cancer Therapies*, *16*(2), 176–187. <https://doi.org/10.1177/1534735416660194>

- Kim, K. Y., Lee, E., Kim, Y. J., & Kim, J. (2017). The association between artificial light at night and prostate cancer in Gwangju City and South Jeolla Province of South Korea. *Chronobiology International*, 34(2), 203–211. <https://doi.org/10.1080/07420528.2016.1259241>
- Kim, T., Lee, B., Sunwoo, J. S., Byun, J. I., Moon, J., Lee, S., Jung, K., Chu, K., Kim, M., Lim, J. S., Lee, E., & Jung, K. (2017). The effect of dim light at night on cerebral hemodynamic oscillations during sleep: A near-infrared spectroscopy study. *Chronobiology International*. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1363225>
- Kim, Y. J., Lee, E., Lee, H. S., Kim, M., & Park, M. (2015). High prevalence of breast cancer in light polluted areas in urban and rural regions of South Korea: An ecologic study on the treatment prevalence of female cancers based on National Health Insurance data. *Chronobiology International*, 32(5), 657–667. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1032413>
- Kim, Y. J., Park, M., Lee, E., & Choi, J. S. (2016). High Incidence of Breast Cancer in Light-Polluted Areas with Spatial Effects in Korea. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17(1), 361–367. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2016.17.1.361>
- Kloog, I., Stevens, R. J. A. M., Haim, A., & Portnov, B. A. (2010). Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide. *Cancer Causes & Control*, 21(12), 2059–2068. <https://doi.org/10.1007/s10552-010-9624-4>
- Koo, Y., Song, J. D., Joo, E. Y., Lee, H., Lee, E., Lee, S. Y., & Jung, K. (2016). Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study. *Chronobiology International*, 33(3), 301–314. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1143480>
- Lai, K. M., Sarkar, C. K., Ni, M. Y., Cheung, L. W., Gallacher, J., & Webster, C. (2021). Exposure to light at night (LAN) and risk of breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 762, 143159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143159>
- Lai, K. M., Sarkar, C. K., Ni, M. Y., Gallacher, J., & Webster, C. (2020). Exposure to light at night (LAN) and risk of obesity: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environmental Research*, 187, 109637. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109637>

- McFadden, E., Jones, M. P., Schoemaker, M. J., Ashworth, A., & Swerdlow, A. J. (2014). The Relationship Between Obesity and Exposure to Light at Night: Cross-Sectional Analyses of Over 100,000 Women in the Breakthrough Generations Study. *American Journal of Epidemiology*, *180*(3), 245–250. <https://doi.org/10.1093/aje/kwu117>
- Min, J. Y., & Min, K. (2018a). Outdoor light at night and the prevalence of depressive symptoms and suicidal behaviors: A cross-sectional study in a nationally representative sample of Korean adults. *Journal of Affective Disorders*, *227*, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.10.039>
- Min, J. Y., & Min, K. (2018b). Outdoor Artificial Nighttime Light and Use of Hypnotic Medications in Older Adults: A Population-Based Cohort Study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *14*(11), 1903–1910. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7490>
- Mørch, L. S., Skovlund, C. W., Hannaford, P. C., Iversen, L., Fielding, S., & Lidegaard, Ø. (2017). Contemporary Hormonal Contraception and the Risk of Breast Cancer. *The New England Journal of Medicine*, *377*(23), 2228–2239. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1700732>
- Nelson, R. J., & Chbeir, S. A. (2018). Dark matters: effects of light at night on metabolism. *Proceedings of the Nutrition Society*, *77*(3), 223–229. <https://doi.org/10.1017/s0029665118000198>
- Obayashi, K., Saeki, K., Iwamoto, J., Okamoto, N., Tomioka, K., Nezu, S., Ikada, Y., & Kurumatani, N. (2013). Exposure to Light at Night, Nocturnal Urinary Melatonin Excretion, and Obesity/Dyslipidemia in the Elderly: A Cross-Sectional Analysis of the HEIJO-KYO Study. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *98*(1), 337–344. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-2874>
- Obayashi, K., Saeki, K., & Kurumatani, N. (2016). Ambient Light Exposure and Changes in Obesity Parameters: A Longitudinal Study of the HEIJO-KYO Cohort. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *101*(9), 3539–3547. <https://doi.org/10.1210/jc.2015-4123>

- Obayashi, K., Yamagami, Y., Kurumatani, N., & Saeki, K. (2020). Bedroom lighting environment and incident diabetes mellitus: a longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort. *Sleep Medicine*, 65, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2019.07.006>
- Ohayon, M. M., & Milesi, C. (2016). Artificial Outdoor Nighttime Lights Associate with Altered Sleep Behavior in the American General Population. *Sleep*, 39(6), 1311–1320. <https://doi.org/10.5665/sleep.5860>
- Oogziektes. (z.d.). [https://www.vlaamsoogfonds.be/oogziektes?gclid=EAlalQobChMlvZWVuMy3-wIV1vI3Ch3eZALcEAAYAAAEgIBI\\_D\\_BwE](https://www.vlaamsoogfonds.be/oogziektes?gclid=EAlalQobChMlvZWVuMy3-wIV1vI3Ch3eZALcEAAYAAAEgIBI_D_BwE)
- Park, Y. G., White, A. J., Jackson, C. L., Weinberg, C. R., & Sandler, D. P. (2019). Association of Exposure to Artificial Light at Night While Sleeping With Risk of Obesity in Women. *JAMA Internal Medicine*, 179(8), 1061. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.0571>
- Patel, P. C. (2019). Light pollution and insufficient sleep: Evidence from the United States. *American Journal of Human Biology*, 31(6). <https://doi.org/10.1002/ajhb.23300>
- Portnov, B. A., Stevens, R. J. A. M., Samociuk, H., Wakefield, D., & Gregorio, D. I. (2016). Light at night and breast cancer incidence in Connecticut: An ecological study of age group effects. *Science of The Total Environment*, 572, 1020–1024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.006>
- Rea, M. S., Brons, J. A., & Figueiro, M. G. (2011). Measurements of Light at Night (LAN) for a Sample of Female School Teachers. *Chronobiology International*, 28(8), 673–680. <https://doi.org/10.3109/07420528.2011.602198>
- Risico's en gevaren. (z.d.). [sciensano.be](https://www.sciensano.be). <https://www.sciensano.be/nl/gezondheidsonderwerpen/obesitas/risicos-en-gevaren#gezondheidsproblemen-als-gevolg-van-obesitas->
- Ritonja, J., Mclsaac, M. A., Sanders, E., Kyba, C. C. M., Grundy, A., Cordina-Duverger, E., Spinelli, J. J., & Aronson, K. J. (2020). Outdoor light at night at residences and breast cancer risk in Canada. *European Journal of Epidemiology*, 35(6), 579–589. <https://doi.org/10.1007/s10654-020-00610-x>

- Rybnikova, N. A., Haim, A., & Portnov, B. A. (2016). Does artificial light-at-night exposure contribute to the worldwide obesity pandemic? *International Journal of Obesity*, 40(5), 815–823.  
<https://doi.org/10.1038/ijo.2015.255>
- Rybnikova, N., Haim, A., & Portnov, B. A. (2015). Artificial Light at Night (ALAN) and breast cancer incidence worldwide: A revisit of earlier findings with analysis of current trends. *Chronobiology International*, 32(6), 757–773.  
<https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1043369>
- Saw, S., Wu, H., Hong, C., Chua, W., Chia, K. S., & Tan, D. T. (2001). Myopia and night lighting in children in Singapore. *British Journal of Ophthalmology*, 85(5), 527–528.  
<https://doi.org/10.1136/bjo.85.5.527>
- Struyf, P., Enhus, E., Bauwens, T., Melgaço, L. (2019). Literature Study: The effects of reduced public lighting on crime, fear of crime, and road safety. [https://www.west-vlaanderen.be/sites/default/files/2020-05/LiteratureReviewdefinitief\\_SmartLightConcepts\\_2Seas.pdf](https://www.west-vlaanderen.be/sites/default/files/2020-05/LiteratureReviewdefinitief_SmartLightConcepts_2Seas.pdf)
- Struyf, P., Enhus, E., Melgaço, L., & Bauwens, T. (2020). Praktijkgids voor lokale besturen - Verminderen van openbare verlichting: impact op veiligheid en criminaliteit. *West-Vlaanderen*. [https://www.west-vlaanderen.be/sites/default/files/2020-12/Praktijkgids\\_SLIC\\_nov2020%20%28002%29.pdf](https://www.west-vlaanderen.be/sites/default/files/2020-12/Praktijkgids_SLIC_nov2020%20%28002%29.pdf)
- Tähkämö, L., Partonen, T., & Pesonen, A. (2019). Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiology International*, 36(2), 151–170.  
<https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1527773>
- Touitou, Y., & Point, S. (2020). Effects and mechanisms of action of light-emitting diodes on the human retina and internal clock. *Environmental Research*, 190, 109942.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109942>
- Tricco, A. C. (2017). *Rapid reviews to strengthen health policy and systems: a practical guide*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/258698>

- Ultra-Vision. (2021, 17 november). *Colour temperatures – which is right for you? – Ultra Vision Lighting*. <https://ultra-vision.com.au/colour-temperatures-which-is-right-for-you/>
- Voigt, C. C., Azam, C., Dekker, J., Ferguson, J., Fritze, M., Gazaryan, S., Hölker, F., Jones, G., Leader, N., Lewanzik, D., Limpens, H., Mathews, F., Rydell, J., Schofield, H., Spoelstra, K., & Zagmajster, M. (2018). *Guidelines for Consideration of Bats in Lighting Projects*.
- Voorstel van resolutie 1913 (2018-2019) nr.1 | Vlaams Parlement. (2019). Vlaams Parlement. Geraadpleegd op 28 april 2023, van <https://www.vlaamsparlement.be/nl/parlementaire-documenten/parlementaire-initiatieven/1310110>
- Ward, E. C., Germolec, D. R., Kogevinas, M., McCormick, D. A., Vermeulen, R., Anisimov, V. N., Aronson, K. J., Bhatti, P., Cocco, P., Costa, G., Dorman, D. C., Fu, L., Garde, A. H., Guénel, P., Hansen, J., Härmä, M., Kawai, K., Khizkhin, E. A., Knutsson, A., . . . Schubauer-Berigan, M. K. (2019). Carcinogenicity of night shift work. *Lancet Oncology*, *20*(8), 1058–1059. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(19\)30455-3](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(19)30455-3)
- Wood, J. M., Isoardi, G., Black, A., & Cowling, I. (2018). Night-time driving visibility associated with LED streetlight dimming. *Accident Analysis & Prevention*, *121*, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.08.023>
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2004). *WHO technical meeting on sleep and health: Bonn Germany, 22–24 January 2004*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/349782>
- World Health Organization: WHO. (2021). Obesity and overweight. *www.who.int*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Wu, Y., Gui, S., Fang, Y., Zhang, M., & Hu, C. (2021). Exposure to outdoor light at night and risk of breast cancer: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environmental Pollution*, *269*, 116114. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116114>
- Xiao, Q., Gee, G. C., Jones, R. R., Jia, P., James, P., & Hale, L. (2020). Cross-sectional association between outdoor artificial light at night and sleep duration in middle-to-older aged adults:



The NIH-AARP Diet and Health Study. *Environmental Research*, 180, 108823.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108823>

Xiao, Q., James, P., Breheny, P., Jia, P., Park, Y., Zhang, D. H., Fisher, J. A., Ward, M. H., & Jones, R. R.

(2020). Outdoor light at night and postmenopausal breast cancer risk in the NIH-AARP diet and health study. *International Journal of Cancer*, 147(9), 2363–2372.

<https://doi.org/10.1002/ijc.33016>

Zalesińska, M. (2018). The impact of the luminance, size and location of LED billboards on drivers’

visual performance—Laboratory tests. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 439–448.

<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.005>

Zhang, D. H., Jones, R. R., Powell-Wiley, T. M., Jia, P., James, P., & Xiao, Q. (2020). A large prospective investigation of outdoor light at night and obesity in the NIH-AARP Diet and Health Study.

*Environmental Health*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00628-4>

Zhong, C., Franklin, M., Wiemels, J. L., McKean-Cowdin, R., Chung, N. T., Benbow, J. H., Wang, S. S.,

Lacey, J., & Longcore, T. (2020). Outdoor artificial light at night and risk of non-Hodgkin

lymphoma among women in the California Teachers Study cohort. *Cancer Epidemiology*, 69,

101811. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2020.101811>

## Lijst met figuren

Figuur 1 Kaart van de wereld met artificiële hemelhelderheid in V-band, als een ratio ten opzichte van natuurlijke hemelhelderheid.....	2
Figuur 2 Kaart van Europa's artificiële hemelhelderheid in V-band, als een ratio ten opzichte van natuurlijke hemelhelderheid.....	2
Figuur 3: Evolutie aantal openbare lampen in België per type verlichtingsbron van 1984 tot 2020. ....	3
Figuur 4 Bovenaan: aandeel ledverlichting Vlaanderen in juni 2022. Onderaan: Evolutie van de verledingsgraad in Vlaanderen.....	4
Figuur 5: Gevoeligheid van een aantal soorten voor verschillende golflengtes, van blauw (korte golflengtes) tot rood licht (lange golflengtes).....	5
Figuur 6: Verdeling van lichtspectra van daglicht, maanlicht en enkele veelgebruikte lamptypes. ....	6
Figuur 7: Kleurtemperatuurschaal, uitgedrukt in Kelvin. ....	6
Figuur 8: Grafische uitleg van de verschillende maten voor lichtintensiteit: verlichtingssterkte (in lux; lx), lichtsterkte (in candela; cd) en lichtstroom (in lumen; lm). ....	7
Figuur 9 Vergelijking van de verlichtingssterkte van straatverlichting en skyglow met die van natuurlijke lichtbronnen.. ....	9
Figuur 10 Normaal circadiaans ritme van de lichaamstemperatuur (rode lijn) en van de hormonen cortisol (zwarte lijn) en melatonine (blauwe lijn) en hun relatie met slaap en activiteit overdag .....	16
Figuur 11 Flow diagram studieselectie relatie NBV met circadiaans ritme en slaap .....	17
Figuur 12 Gecorrigeerde gemiddelden (m.n. 'least square means') voor het aantal dagen met voorschrift voor slaapmedicatie (links) en voor dagelijks voorgeschreven dosis (rechts) per kwartiel NBV.....	19
Figuur 13 Associatie tussen NBV en slaapduur bij mannen en vrouwen in de 'NIH-AARP Diet and Health Study'.....	21
Figuur 14 Flow diagram studieselectie voor borstkanker .....	25
Figuur 15 Flow diagram studieselectie voor andere kankertypes .....	28
Figuur 16 Vermoedelijk mechanisme onderliggend aan het verband tussen nachtelijke buitenverlichting (NBV) en borstkanker.....	30
Figuur 17 Flow diagram studieselectie voor obesitas .....	33
Figuur 18 Overzichtsfiguur van de systematische review van Lai et al. (2020). ....	35
Figuur 19 Flow diagram studieselectie voor oogfunctie .....	37
Figuur 20 Cijfers over geestelijke gezondheid in het Vlaams gewest .....	40
Figuur 21 Flow diagram studieselectie relatie NBV met mentale gezondheid.....	41
Figuur 22 Associaties tussen kwintielen (Q) van NBV van de woonplaats en score voor depressieve symptomen.....	42
Figuur 23 Visuele weergave van niet-lineaire associatie tussen NBV (x-as) en gepercipieerde stress (y-as). ....	43

## Lijst met tabellen

Tabel 1 Lichteigenschappen van verschillende veelgebruikte lamptypes .....	5
Tabel 2: Eenheden voor lichtintensiteit .....	8
Tabel 3 Overzicht van resultaten per studie rond borstkanker, met specifieke vermelding van bestralingssterkte.....	27