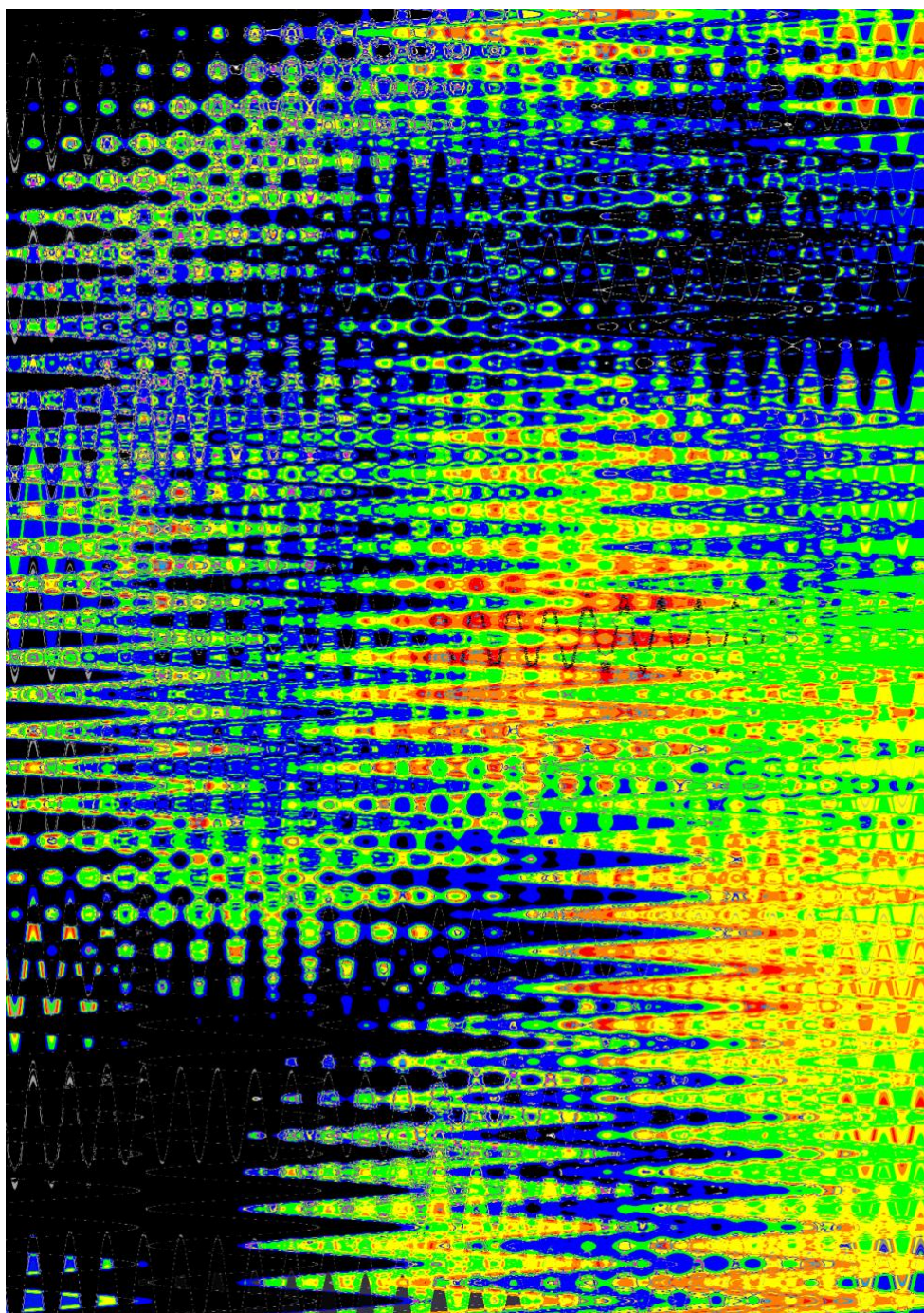


NOTAT:

# Lysforurensning og mulige tiltak i nordisk kontekst.

ALD - IORL - Universitetet i Sørøst-Norge (USN), for Klima og miljøseksjonen - Statens Vegvesen.

Dato: 20. desember 2021.



# Innhold

<b>1.</b>	<b>Bakgrunn .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Metode.....</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Lysets påvirkning på flora og fauna .....</b>	<b>8</b>
3.1	Planter .....	8
3.2	Leddyr.....	9
3.3	Fisk og amfibier .....	9
3.4	Fugler.....	9
3.5	Pattedyr.....	10
<b>4.</b>	<b>Nasjonale og internasjonale erfaringer .....</b>	<b>11</b>
4.1	Beste praksis.....	11
4.2	Styring av lyset.....	11
4.3	Fargetemperatur/spektralfordeling .....	12
4.4	Avskjerming/blendingsbegrensning .....	12
4.5	Frontlykter.....	12
<b>5.</b>	<b>Utfordringer, potensial og anbefalinger .....</b>	<b>13</b>

## Forord

Notatet gir Statens vegvesen en oppdatert oversikt over nasjonal og internasjonal forskning på lysforurensning og dermed et oppdatert kunnskapsgrunnlag for arbeid med lysforurensning i vei- og gatelyssektoren i Norge. Ved å identifisere utfordringer, problemområder og potensial setter notatet søkelys på effekter av kunstig lys på natur og opplevelsen av naturlig lys. Notatet peker også på mulige tiltak som kan bidra til å redusere negative effekter fra kunstig lys.

Notatet er skrevet av ansatte ved Institutt for optometri, radiografi og lysdesign – Arkitektonisk lysdesign – Universitetet i Sørøst-Norge: Veronika Zaikina PhD, gruppeleder Are Røysamb og stipendiat Helga Iselin Wåseth.

Oslo, 14. desember 2021

## Sammendrag

Negative virkninger av belysning er godt dokumentert, både ved astronomisk og økologisk lysforurensning. Stadig flere studier gjøres på området og kunnskapsgrunnlaget vokser. Ikke all kunnskap kan overføres direkte til praktiske tiltak for å redusere lysforurensning. Videre fokus på temaet og videre forskning må til for å kunne gi kvalifiserte og konkrete råd til private og offentlige aktører som etablerer, drifter og vedlikeholder lysanslegg.

På overordnet nivå vil det å etablere lys-soner for områder med ulik grad av sårbarhet og vernegrad gi en positiv innfallsport og trolig en koordinerende effekt mellom ulike aktører. Ny teknologi bør tas i bruk og styringssystemer som får teknologien til å fungere optimalt likeså. Den spektrale sammensetningen i lyskilder bør dokumenteres, og målinger av kun horisontale luxnivåer er ikke tilfredstillende for å dokumentere lysforurensning. Avblending av lyskilder er et viktig grep i forhold til lysforurensning.

## 1. Bakgrunn

Kunstig belysning har forbedret menneskers liv, forbedret synlighet, estetikk og har økt sikkerheten i rurale og urbane områder. Overflødig kunstig belysning utendørs fører til lysforurensning, noe som har en viss negativ effekt på folkehelse og økosystemer, samt på nattehimmels estetikke og kulturelle betydninger. (Li et al., 2021)

Lysforurensning er et økende problem siden global lysforurensning har økt med minst 49 % i løpet av den siste 25-årsperiode (Sánchez de Miguel et al., 2021). Kunstig lys om natten (ALAN) er i dag anerkjent som et stort menneskeskapt press på miljøet på global skala og defineres derfor som lysforurensning (Challéat et al., 2021)

CIE gir en generell definisjon av «lysforurensning», et begrep som indikerer summen av alle uheldige effekter forårsaket av kunstig lys (CIE 2010a). En slik effekt kan være forstyrrelse av økosystemer og nattlige skapninger påvirkning på flora og mennesker. I tillegg til den negative påvirkningen på miljøet, kan overskudd av lys føre til svekkede astronomiske observasjoner og negative økonomiske konsekvenser (Peña-García & Sędziwy, 2020).

Lysforurensning deles gjerne inn i astronomisk lysforurensning og økologisk lysforurensning. Den første handler om de deler av lyset som spres i atmosfæren og sørger for redusert synlighet av stjernehimmelen. Blå-hvite LED-kilder kan øke lyset på nattehimmelen med 2,5–5 ganger (oppfattet av mørkeadaptert menneskelig øye) (Falchi et al., 2011)

Økologisk lysforurensning kan i utgangspunktet defineres som tilstedeværelsen av kunstig lys med en intensitet og spektral sammensetning, på tidspunkter hvor det har negative økologiske effekter (Gaston et al., 2015). Longcore og Rich definerer økologisk lysforurensning som kunstig lys som endrer de naturlige effektene av lys og mørke i økosystemer (Longcore & Rich, 2004).

Veibelysning har en betydelig effekt på lysforurensningsnivået (Hiscocks & Guðmundsson, 2010; Li et al., 2021).

Norge er spesielt når det kommer til lysforhold gjennom årstidene, og lysforurensning. Lange mørke perioder fra høst til tidlig vår, fører til større behov i kunstig belysning, ikke minst gate og veibelysning. Dette fører til negative konsekvenser for naturmangfold i disse områdene. Samtidig har snødekke om vinteren en reflektans over et bredt område i det synlige spekteret og fører dermed til dramatisk økning av lysutslippene og «skyglow» (Jechow & Hölker, 2019).

## 2. Metode

Arbeidet er i hovedsak utført som en litteraturgjennomgang. Søk etter litteratur i vitenskapelige databaser ble gjennomført med utvalgte søkeord. Litteratursøk ble gjennomført i databasene Web of Science og Science Direct, i tillegg er Google scholar benyttet i overordnede søk. I tillegg er noe hentet fra norske/skandinaviske tidsskrifter og rapporter.

## 3. Lysets påvirkning på flora og fauna

Lys er grunnleggende for eksistensen av flora og fauna på jorda. Lys er ikke bare en energikilde, men også en kilde til informasjon for alle arter med en atferd som varierer gjennom døgnet, måneden og året siden naturlig variasjon i lyset stiller organismens interne klokke (Gaston et al., 2013). Kunstig lys påvirker disse artene gjennom å «forurens» det naturlige signalet de får gjennom fraværet av lys om natten.

### 3.1 Planter

Planter oppfatter lyssignaler ved hjelp av et fytokromsystem som overvåker nivået, intensiteten, varigheten og fargen til lys fra omgivelsene. Som en følge påvirkes veksten (også blomstringen, bladens alderdom og abscission), frøenes spiring, forlengelsen av frøplanter; størrelsen, formen og antall blader; fotosyntesen (Meravi & Kumar Prajapati, 2020; Schroer, 2016). Kryptokromer (en klasse av flavoproteiner) involvert i reguleringen av døgnrytmen til planter er følsomme for blått lys. Kunstig blått lys om natten oppfattes av kryptokromene, og det kan påvirke de normale signalene og funksjonene til plantenes kryptokromer (Singhal et al., 2019). Kunstig lys om natten kan påvirke de forskjellige plantenes døgnprosesser: pulvinære bladbevegelser, stomatal oppførsel, celleforlengelse, forlengelseshastighet av bladstilkens abaksiale og adaksiale celler, omorganisering av vaktcellens cytoskjelett, kontroll av stomatalåpning og gassutveksling, CO<sub>2</sub>-assimilering i CAM-anlegg, auxinnivåer og transport og etylenproduksjon. Kunstig lys etter skumring eller før daggry kan forårsake faseskift og forstyrrelse av plantens naturlige døgnrytme (Singhal et al., 2019). Mørkeperioden (om natten) er svært kritisk for planter, og hjelper dem å reparere og komme seg etter miljøpåkjenninger på dagtid (høy lysintensitet, UV-stråler, produksjon av reaktive oksygenarter (ROS) og andre). Overskudd av kunstig lys om natten kan redusere plantenes evne til å komme seg etter disse påkjenningene (Singhal et al., 2019). Planter som utsettes for kontinuerlig gatelys opplever negative endringer i deres fotosynteseevne (Meravi & Kumar Prajapati, 2020). Eksponering for belysning om natten kan føre til at planter blir mottakelige for frost, soppinfeksjoner og insektangrep (Singhal et al., 2019).

## 3.2 Leddyr

Leddyr omfatter insekter og edderkopper på land samt krepsdyr i vann. Leddyr påvirkes i stor grad av kunstig lys om natten, insekter flyr for eksempel gjerne rundt lyskildene til de er utslitt og faller til jorden hvor de blir et lett bytte (Rich & Longcore, 2013 s. 283). Lysforurensning forstyrrer nattaktive arter, og nattaktive insekter er viktige komponenter i økosystemet (Owens & Lewis, 2018) dermed kan lysforurensning være en viktig faktor som påvirker insektstilbagegangen (Owens et al., 2020). Spektralsammensetningen påvirker i hvilken grad insekter trekkes mot lyskilden, ulike insekter påvirkes forskjellig av ulike lysfarger. Generelt er UV, blått og grønt lysfarger som tiltrekker insekter i større grad, lyskilder med lavere fargetemperatur, altså mindre andel kortbølget lys, vil dermed tiltrekke færre insekter, og særlig om lyskilden er tilpasset så den utstråler minst mulig kortbølget (blått) lys (Longcore et al., 2015). Høytrykksnatrium lamper har liten andel kortbølget lys, og tiltrekker 48% færre av enkelte insektarter, sammenlignet med hvit LED (Pawson & Bader, 2014), dette henger sammen med høyere verdier av kortbølget (blått) lys i LED-lyskilder. Donners m.fl. har utviklet en enhet de kaller *Insect Light Attraction* (ILA) som veker spektralfordelingen for forskjellene i tiltrekningseffekt (for insektene) på hver bølgelengde (Donners et al., 2018) Dette gir mulighet for å velge armaturer med en spektralfordeling med lavest mulig påvirkning på insekter.

## 3.3 Fisk og amfibier

Kunstig lys om natten har flere negative konsekvenser på akvatiske systemer og deres omgivelser, på nesten alle nivåer i næringskjeden (Jechow & Hölker, 2019). For eksempel har gatelys en markant effekt på mort og abbors reproduktive egenskaper, viser en studie fra Tyskland (Brüning et al., 2018). Melatoninivåene hos samme type fisk ble tydelig redusert ved lysnivåer helt nede på 1 lux, i laboratorieforsøk (Brüning et al., 2018). Lyset fra broer kan bli barrierer for fisk, som laks og ål som forflytter seg over større distanser. Lysmålinger gjort ved vannoverflaten vil være den beste måten å dokumentere lysforurensning til vann (Jechow & Hölker, 2019). I tillegg øker lys mot vannflater de relative lysnivåene i omgivelsene på grunn av lysets refleksjon og spredning i vannet. Følgelig kan kunstig lys i akvatiske områder nå ut- og dermed påvirke betydelig større områder sammenlignet med belysning i andre miljøer (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). Dermed kan det å minske lys til vannet fra broer og veier ved vannet være et viktig tiltak.

Mange amfibier forflytter seg om våren fra områder de overvinter til områder med vann hvor de reproduserer seg, ofte må de forflytte seg over veier hvor de lett blir påkjørt. Mange padder samler seg i nærheten av lyset fra veier, muligvis fordi de finner mat ved lyset, men dette øker samtidig risikoen for å bli påkjørt eller bli spist av rovdyr. (van Grunsven et al., 2017). Frosk og padder trekkes mot blålig lys, derfor er det sannsynlig at med bruk av varm fargetemperatur tiltrekker padder i mindre grad (van Grunsven et al., 2017) Padder tiltrekkes og samles ved gatelys i større grad om sommeren, om våren når de forflytter seg unngår de lyset. Rødt lys på rundt 600nm påvirker paddene i liten grad. (van Grunsven et al., 2017).

## 3.4 Fugler

Natttrekkende fugler bruker jordens magnetfelt til å navigere under trekk og har to fysiologiske mekanismer for det, hvorav den ene er et fotoreseptorbasert magnetoresepsjonssystem (La Sorte et al., 2017). Forskjeller i frekvensen, intensiteten av ALAN og til og med andre frekvenser av

elektromagnetisk stråling (ikke-synlig) kan påvirke presisjonen av magnetoresepsjonssystemet og kan øke desorienteringen av fugler under migrasjon. Dermed følger trekkfugler lengre og mindre effektive migrasjonsruter med begrensede mellomlandingsmuligheter og ytterligere farer (kollisjoner, farlige områder, osv.). Alt dette kan ha en stor effekt på ungfugler under høsttrekket, noe som direkte kan påvirke langsiktig bestandsvedlikehold (La Sorte et al., 2017). Det er uenighet mellom forskere om hvilken farge på lyset som tiltrekker fuglene sterkest, men nyere studier som tester LED-armaturer av forskjellige farger, viser at blått LED-lys har sterkest innflytelse på trekkfugler (Zhao et al., 2020). Andre studier viser at hvit- og amber-belysning, som i gatelys i urbane parker, forstyrrer søvnen til urbane fugler, men dette er et artsavhengig fenomen, og amberbelysning har vist lavere forstyrrende effekt på noen av de testede fuglene enn hvitt lys (Aulsebrook et al., 2020). Lysforurensning kan forstyrre de daglige sangrutinene til fugler (Da Silva et al. 2016, 2017) noe som påvirker hvor god form og hvor god helse de har. Effektene av ALAN forventes å være sterkere i byer på høye breddegrader der den daglige fotoperioden varierer over året (Da Silva & Kempnaers 2017). På grunn av overskudd av kunstig belysning kan korte vinterdager også oppfattes av fuglene som lengre vårdager og føre til at hannene synger tidligere i sesongen og derfor hekker tidligere når værforholdene ennå ikke er optimale for reirungene (Schroer, 2016).

Fugler er sterkt avhengige av variasjon i lysnivåer for å regulere deres daglige og sesongmessige atferd. Overdreven belysning og bruk av LED-armaturer som produserer mye blått lys kan indirekte påvirke fuglebestanden og det biologiske mangfoldet negativt.

### 3.5 Pattedyr

Mange pattedyr er nattaktive, og påvirkes dermed av variasjon i lysnivå gjennom døgnet, måneden og året, sansesystemet er dermed tilpasset lysforholdene om natten. Mange små pattedyr unngår å finne mat ved fullmåne, på grunn av økte lysnivåer, noen få studier er utført, disse viser at lysforurensning påvirker førsøk (Shier et al., 2020). Selv svært lave lysnivåer, som man får fra strølyss fra byer, er nok til å endre adferd hos hos små pattedyr, men de tilpasser seg miljøet og enkelte arter profiterer på at insekter tiltrekkes av lyset (Hoffmann et al., 2018).

Flaggermus, vårt eneste flyvende pattedyr, påvirkes på ulike måter. For eksempel unngår enkelte arter lyset, mens andre trekkes mot det, og får et lett måltid med insekter ved gatelyktene. I tillegg kan lys påvirke evnen til å overvintre og kan påvirke kroppsvekt og flygeevne (Moretto & Francis, 2017). For større pattedyr kan lysforurensning lede til desynkronisering i sesongmessige fysiologiske prosesser (Robert et al., 2015). Store pattedyr unngår opplyste områder, noe som kan være positivt, da de holder seg unna byer og veier, samtidig innskrenkes deres områder.

Mennesket er et pattedyr, og naturlig nok finnes det mer forskning på hvordan lys påvirker mennesket enn andre arter. Mennesket er dagaktivt, og kroppen er tilpasset aktivitet om dagen, i dagslys, og hvile om natten. I hvileperioden har vi høye nivåer av melatonin. Når vi får lys på retina hemmes melatoninproduksjonen (Brainard et al. 1997). Kunstlig lys om natten forstyrrer dermed vår døgnrytme, noe som er satt i sammenheng med blant annet utvikling av kreft, overvekt, diabetes type 2 og hjertesykdommer (Hicks et al., 2020).

## 4. Nasjonale og internasjonale erfaringer

### 4.1 Beste praksis

Det er relativt stor enighet om negative effekter av Artificial Light at Night (ALAN) men det er fortsatt noe usikkerhet omkring *grensene* for negativ påvirkning, blant annet for luxnivåer, spektral bølglengdefordeling, arealfordeling og artsoverlevelse (Jägerbrand & Bouroussis, 2021; Schroer et al., 2020). Forskjellige måter å dokumentere lysforurensning blir benyttet noe som påvirker anbefalingene.

Flere kommuner i Norge har de siste ti årene etablert lysplaner. I vårt naboland Sverige er situasjonen liknende, men en studie fra 2021 viser at majoriteten av disse planene ikke inneholder tiltak mot lysforurensning (Jägerbrand, 2021). Nye overordnede reguleringer og forskrifter vil være nyttige på nasjonalt nivå, for eksempel for å redusere Skyglow, mens lokale områder under press vil kunne håndteres gjennom lokale forvaltningsplaner (Gaston et al., 2015). Følgelig anbefales det at føre-var-metoder, for å unngå og redusere lysforurensning i verneområder, integreres i forvaltningsplanene, selv om det stilles spørsmål om dagens generelle veiledere er tilfredstillende for opprettholdelse av biologisk mangfold (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

Belysningsstandarden CEN/TR 13201 (Road Lighting—Del 1, og del 2) ble oppdatert i 2014/15, og brukes i de fleste europeiske land. Standarden definerer hvordan man skal designe optimal belysning når det gjelder lyspunkt plassering og lysets egenskaper (light properties). Hovedfunksjonene til dagens gate- og veilys er å gi visuell føring og sørge for at tredimensjonale objekter i vegbanen blir synlige. Ved fremtidig bruk av kameraer og LiDAR (Light Detection and Ranging)(Guan et al., 2020) i autonome systemer i biler vil behovet for kunstig belysning være mindre.

Beste praksis kan beskrives på ulike måter: Enten som praktisk og pragmatisk tilnærming hvor type lyskilde, avblending (også mot himmel), dimming og lyskontroll (også med tidskontroll) maks antall armaturer og deres egenskaper defineres. Eller som en oppdeling av de aktuelle lysrom i ulike soner med ulik karakter. På et overordnet nivå kan man da prioritere enkelte områder og legge strategiske føringer både for fremtidig forskning og økt forståelse for hvilke områder som skal prioriteres for å unngå lysforurensning (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). Prioriterte lysrom kan ligge som ramme for kommunal og regional forvaltning. Lysmiljøer/lysrom kan brukes til å klassifisere soner med forskjellig karakter over et større område, og dermed avklare hvilke områder som bør prioriteres.

### 4.2 Styling av lyset

Moderne teknologi byr på flere løsninger for styling av utkobling og dimming av lysinstallasjoner, og armaturer kan dimmes automatisk til ulike nivåer via planlagte profiler eller ved å bruke feltsensorer. I LED-armaturer kan drivere forhåndsprogrammeres til å følge en bestemt profil gjennom hele året uten å legge vesentlige kostnader på selve utstyret. Det er spesielt viktig å planlegge at lyset skal dempes eller slås av i sensitive områder (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).



### 4.3 Fargetemperatur/spektralfordeling

Rayleighspredning er et fenomen der lys spres i små partikler som man for eksempel finner i atmosfæren. Kortbølget (blålig) lys spres mer enn langbølget (rødlig) lys. Lyskilder med stor andel kortbølget lys (hovedsakelig metallhalogen og hvit led) spres da mer i atmosfæren, enn lyskilder med kortbølget lys (høytryksnatrium). Mange studier på lysforurensning, gjennomført med ulike forskningsmetoder, instrumenter og strategiske vurdering, bruker *belysningsstyrke* som hovedmålenheten og horisontal belysningsstyrke er verdiene som kommuniseres. (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). Studier gjennomført med lux- og CCT-målinger vil ikke nødvendigvis fange opp virkningen av lys på arter med radikalt *annerledes spektralsensitivitet*, siden et luxmeter er tilpasset menneskets spektrale sensitivitet og CCT-målinger kan vise identisk fargetemperatur oppnådd ved ulik spektralblanding.

### 4.4 Avskjerming/blendingsbegrensning

Viktigheten av Rayleigh-spredning er ikke den eneste faktoren i begrensning av lysforurensning. Bruk av armaturer som unngår utslipp av lys mot den øvre halvkule (over armaturene), nøyaktige og hensiktsmessige nivåer på belysningen vil være nok til å unngå lysforurensning selv når hvite LED-er brukes (Peña-García & Sędziwy, 2020). Lys fra en armatur kan blokkeres ved fysisk avskjerming eller av linser på forsiden av LED-brikkene. Med *skarp cut off* (SCO) vil ikke lys sendes *over* horisontlinjen og mindre enn 1 prosent av den totale lysfluxen gå over 80/90 grader perpendikulært fra senter av armaturen (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

The International Dark Sky Association har et system for å redusere lysforurensning i sårbare områder, som de kaller *The backlight, uplight and glare system* (BUG). Systemet gjør det mulig å begrense mengden lys fra ulike vinkler av armaturen (typisk fra senterlinje av mastemontert armatur) og hindre unødvendig lys oppover og bakover fra armaturene (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

### 4.5 Frontlykter

LED-hoved- og bilykter på biler velges på grunn av deres evne til å forbedre effektiviteten og holdbarheten til lyskilden og komforten til de kjørende. En studie fra 2018 viser at det er mulig å redusere lyset som tilføres fra veglyset på grunn av lyset fra frontlykter på biler (Bozorg et al., 2018).

Utslipp fra frontlykter på kjøretøy må betraktes som en alvorlig og voksende kilde til økologiske lysforurensning mener Gaston et al. (Gaston et al., 2018). Det å minimere de negative effektene og samtidig balansere sjåførenes sikkerhetsbehov, unngå risiko og ubehag for andre trafikanter vil være en betydelig utfordring hevder de. (Gaston et al., 2018).

Den økologiske påvirkningen av lys fra kjøretøyslykter kan være høy fordi disse er fokusert med høy intensitet for å belyse veikanter, ligger over aktiveringsterskler for mange biologiske prosesser, bærer svært langt, påvirker der det ikke er gatelys, har et blå-hvitt spekter som aktiverer mange

biologiske prosesser og oppfattes som serier av lyspulser, en dynamikk kjent for å ha store biologiske påvirkninger (Gaston et al., 2018).

## 5. utfordringer, potensial og anbefalinger

Det meste av lysforurensning kan unngås ved gjennomtenkt systemdesign/lysdesign og valg av lysutstyr for å reflektere både det spesifikke formålet og de naturlige lysnivåene som er tilgjengelige for øyeblikket (Pothukuchi, 2021). Den norske organisasjonen «Bevar mørket» har utarbeidet en veileder med mulige tiltak for å redusere lysforurensning. Likevel, forskningslitteraturen om mulige tiltak utvides kontinuerlig med oppdatert informasjon og bør dermed brukes som grunnlag for praksis.

Det finnes en modellforordningen om **lys-soner** som har blitt foreslått av IESNA og IDA (IESNA/IDA, 2011). Deres **Model Lighting Ordinance** kan hjelpe kommuner og andre med utvikling av **utendørsbelysningsstandarder som reduserer gjenskinn, lysinntrenging og skyglow**. Modellen bruker sone 0 til 4 til definerer ulike områder ut ifra de eksisterende lysforholdene.

Model Lighting Ordinance er rådgivende når det kommer til klassifisering av armaturer og den definerer **fem overordnede prinsipper for god belysning utendørs** (IDA, 2020): 1) Alt lys skal ha en klar hensikt. 2) Lys skal kun rettes dit det er nødvendig, 3) Lyset skal ikke være sterkere enn nødvendig, 4) Lys bør kun brukes når det er til nytte, 5) Bruk lys med varmere farger der det er mulig.

Det er i følge Sanders m fl. (2020) **utfordrende å lage anbefalinger for lysnivåer**, da biologiske innvirkninger kan skje helt ned på nivåer som 1 lux. Samtidig mener de at avbøtende tiltak bør være rutine heller enn å være begrenset til steder og tidspunkter der arter med særlige behov er aktive (Sanders et al., 2020).

**For å få optimal dokumentasjon på lysforhold i vernede og sårbare områder må det tas hensyn til ulike arter- og deres habitaters egenhet.** Både mengde og retning på stråling inn mot et område eller habitat, og denne strålingens spektrale sammensetning bør dokumenteres. Både irradians og radians bør måles (Jägerbrand & Bouroussis, 2021)

Mange insekter, fugler, reptiler og andre arter har fotoreseptorer som er mer følsomme for visse bølgelengdene enn mennesker. **Filtrering av deler av spekteret vil hjelpe.** Man har allikevel ingen garanti for at lyskilder med mindre blått lys hindrer økologiske påvirkninger, siden organismer fortsatt kan bli påvirket. (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). **Det bør brukes måleinstrumenter som dekker hele det synlige spekteret, og om mulig også en større del utover dette området.**

Siden fysiologiske responser fra planter utløses av lysintensitet, spektralfordeling og belysningsvarighet, **bør tiltakene involvere manipulering med disse fysiske parametrene og bør verifiseres vitenskapelig** (Singhal et al., 2019).

**Det å minske lysutslipp mot vann fra broer og veier vil være et viktig tiltak mot lysforurensning** (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

Beregning av lysystemer skal sikre at lysdesignet stemmer overens med CEN/TR 13201 standardens minimumskrav, men ikke nødvendigvis med tanke på «overbelysning», som kan resulterer i lysforurensning og øker både drifts- og investeringskostnadene. Prosessen med å redusere overbelysning krever enormt med arbeid (Wojnicki et al., 2019). **En mulig løsning på denne utfordringen er å ta i bruk Artificial Intelligens (AI)** (Wojnicki et al., 2013).

**Anbefalinger om maksimal belysningsstyrke kan være et virkemiddel i sårbare områder.**

Gjennomsnittlige luxverdier mellom 1 og 3 lux og mindre enn 3 lux mot øyet er anbefalt i vernede og sårbare områder, tilsvarende nivåer mellom 2 og 5 lux for enkelte P-klasser definert i EN13201-2. Selv små økninger i luxnivåer mellom 0 og 10 lux gir økt grad av opplevd sikkerhet, men over 10 lux er økningene marginale. Luxnivåer mellom 2 og 3 lux vil sikre minimum av sikkerhet, men ikke opplevd trygghet. **Belysningens funksjon, hensikt og plassering i vernede områder må derfor vurderes og avveies nøye** (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

Dimmingsplaner og sensoraktivert systemer bør inneholde anbefalte maksimale nivåer av belysningsstyrke. (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). **Beste praksis for lysfølsomme arter er å slå av belysning eller implementere dimming og/eller delnattplaner som starter så tidlig som mulig.** (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). **Sensoraktivert (adaptiv) eller kontrollert belysning anbefales også for veier eller gater med lite trafikk, hvor kunstig lys anses som nødvendig for mennesker** (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

For å begrense kostnadene ved offentlige gatelyssystemer og for å unngå energisløsing, **må belysningsnivået på veidekker være tilpasset faktiske trafikkmengder (ÅDT), som foreskrevet i forskriftene.** I en studie fra 2021 (Fryc et al., 2021) er verdiene for luminansnivåene gitt av EN 13201-standarder redusert til verdier som er konvertert til tilsvarende mesopiske luminansverdier. Studien viser en årlig besparelse på 15 % i strømforbruket på vei med en slik konvertering. Man må anta at en slik konvertering også bidrar til redusert lysforurensning.

For kulturmiljøer eller historiske steder **anbefales det å bruke full cut off (FCO) eller skarp cut off (SCO) for lysarmaturene** og samme lysverdier og lyskilder som nærliggende områder (Jägerbrand & Bouroussis, 2021).

**Systemet for bakgrunnsbelysning, opplys og blanding (BUG) utviklet av International Dark-Sky Association (IDA)** tillater et strengere og mer detaljert skjermingskrav for armaturer, som ville være mer hensiktsmessig i sensitive og beskyttede områder. (Jägerbrand & Bouroussis, 2021). Dette systemet gjør det mulig å begrense lysmengden i ulike vinkler fra armaturet, adskilt av bakgrunnsbelysning, frontlys og opplys.

Norge er et land preget av lange avstander og behov for relativt omfattende trafikk og transport. Effektive logistikksystemer og god infrastruktur er en forutsetning for økonomisk velstand og velferd i Norge. Likevel, belysning av veier og gater sammen med kjøretøylys utgjør en av de største kildene til lysforurensning. Tiltak for å redusere lysforurensning fra trafikkveier bør iverksettes så fort som mulig. I notatet har vi samlet tiltak som kan være aktuelle for nordiske forhold. Samtidig er det sterkt behov for flere vitenskapelige studier, som ser på sammenhenger og avveininger mellom forskjellige tiltak, som tar hensyn til unike forutsetninger og konsekvenser, og som kan anvendes med høy grad av sikkerhet, i Norge.

## Referanser

- Bozorg, S., Tetri, E., Kosonen, I., & Luttinen, T. (2018). The Effect of Dimmed Road Lighting and Car Headlights on Visibility in Varying Road Surface Conditions. *LEUKOS*, 14(4), 259-273.  
<https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1452152>
- Challéat, S., Barré, K., Laforge, A., Lapostolle, D., Franchomme, M., Sirami, C., Le Viol, I., Milian, J., & Kerbirou, C. (2021). Grasping darkness: The dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity. *Ecology and society*, 26(1), 1. <https://doi.org/10.5751/ES-12156-260115>
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M., & Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *J Environ Manage*, 92(10), 2714-2722. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.029>
- Gaston, K. J., Duffy, J. P., & Bennie, J. (2015). Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system. *Conservation Biology*, 29(4), 1132-1141.  
<https://doi.org/10.1111/cobi.12462>
- Guan, L., Chen, Y., Wang, G., & Lei, X. (2020). Real-time vehicle detection framework based on the fusion of lidar and camera. *Electronics (Basel)*, 9(3), 451.  
<https://doi.org/10.3390/electronics9030451>
- Hiscocks, P. D., & Guðmundsson, S. (2010). The Contribution of Street Lighting to Light Pollution. *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 104(5), 190-192.
- IDA. (2020). *Joining Forces to Protect the Night from Light Pollution*. Retrieved 14. desember from <https://www.darksky.org/joining-forces-to-protect-the-night-from-light-pollution/?eType=EmailBlastContent&eld=ac9ec4ff-250f-4545-85fe-791cea66d6c3>
- IESNA/IDA. (2011). *Model Lighting Ordinance (MLO) with Users Guide*. Retrieved 17. desember from [http://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/16\\_MLO\\_FINAL\\_JUNE2011.PDF](http://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/16_MLO_FINAL_JUNE2011.PDF)
- Jechow, A., & Hölker, F. (2019). Snowglow—The Amplification of Skyglow by Snow and Clouds Can Exceed Full Moon Illuminance in Suburban Areas. *Journal of Imaging*, 5(8), 69.  
<https://www.mdpi.com/2313-433X/5/8/69>
- Jägerbrand, A. K. (2021). Development of an indicator system for local governments to plan and evaluate sustainable outdoor lighting. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 13(3), 1-22.  
<https://doi.org/10.3390/su13031506>

- Jägerbrand, A. K., & Bouroussis, C. A. (2021). Ecological impact of artificial light at night: Effective strategies and measures to deal with protected species and habitats. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 13(11), 5991. <https://doi.org/10.3390/su13115991>
- Li, X., Duarte, F., & Ratti, C. (2021). Analyzing the obstruction effects of obstacles on light pollution caused by street lighting system in Cambridge, Massachusetts. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(2), 216-230. <https://doi.org/10.1177/2399808319861645>
- Longcore, T., & Rich, C. (2004). Ecological Light Pollution. *Frontiers in ecology and the environment*, 2(4), 191-198. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO)  
2
- Peña-García, A., & Sędziwy, A. (2020). Optimizing Lighting of Rural Roads and Protected Areas with White Light: A Compromise among Light Pollution, Energy Savings, and Visibility. *LEUKOS*, 16(2), 147-156. <https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1574138>
- Pothukuchi, K. (2021). City Light or Star Bright: A Review of Urban Light Pollution, Impacts, and Planning Implications. *Journal of Planning Literature*, 36(2), 155-169. <https://doi.org/10.1177/0885412220986421>
- Sánchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., & Gaston, K. J. (2021). First Estimation of Global Trends in Nocturnal Power Emissions Reveals Acceleration of Light Pollution. *Remote Sensing*, 13(16), 3311. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/16/3311>
- Schroer, S., Huggins, B. J., Azam, C., & Hölker, F. (2020). Working with inadequate tools: Legislative shortcomings in protection against ecological effects of artificial light at night. *Sustainability (Basel, Switzerland)*, 12(6), 2551. <https://doi.org/10.3390/su12062551>
- Wojnicki, I., Sedziwy, A., & Kotulski, L. (2013). Outdoor Lighting Design Process Optimization. SMARTGREENS,