

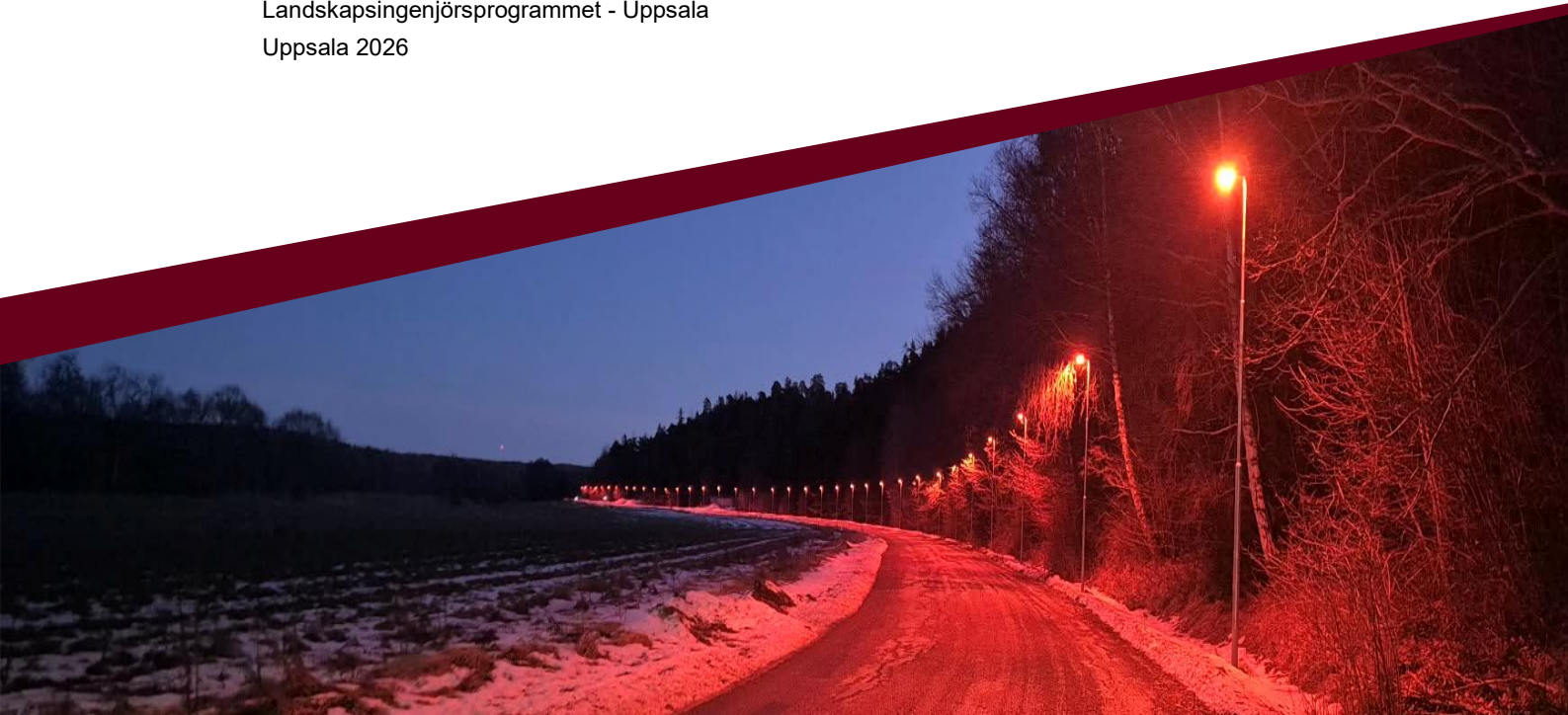


Ljusföroreningars påverkan på nattaktiva djurarter

Med fokus på ljusets färg och tillämpning i urbana miljöer

Anja Schröder

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2026



Ljutföroringars påverkan på nattaktiva djurarter - Med fokus på ljusets färg och tillämpning i urbana miljöer

Light pollutions impact on nocturnal animal species. Focused on the colour of the light and its application in urban environments.

Anja Schröder

Handledare: Roger Elg, SLU, institutionen för stad och land
Examinator: Sara Borgström, SLU, institutionen för stad och land

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod: EX1004
Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.: Institutionen för stad och land
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2026
Omslagsbild: Vindbrovägen, Uppsala. Foto: Anja Schröder
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Ljutf roringar, artificiellt ljus, nattaktiva arter, färgspektrum, ljussättning, urbana miljöer

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Förord

Denna uppsats är ett kandidatarbete inom landskapsingenjörsprogrammet på Sveriges lantbruksuniversitet i Ultuna. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och har utförts under våren 2026.

Jag vill tacka min handledare Roger Elg för tydliga genomgångar av vad som förväntas, konkreta kommentarer och förbättringsförslag under arbetets gång, samt handledningsgruppen som bidragit med god feedback och stöd genom hela processen. Ett tack riktas även till examinator Sara Borgström och opponeringsgruppen, för ett trevligt slutseminarium med tydliga kommentarer på vad som behöver göras och exempel på förbättringar, vilka gjort stor skillnad för ett bättre slutresultat.

Tack även till Marianne Lind, som tagit sig tid att svara på frågor ställda via mejl och Marcus Hedblom, som tipsade om att läsa Mörkermanifestet av Eklöf (2020), som varit en viktig referens i flera av studiens delar.

AI-deklaration

AI har inte använts i den här uppsatsen.

Sammanfattning

Det växande miljöproblemet med ljusföroreningar, som är en följd av urbaniseringen, påverkar de naturliga förhållanden som existerat på jorden i flera miljoner år. Den här studien undersöker vilka ljusfrekvenser som har störst påverkan på ett urval av Sveriges vanligaste nattaktiva däggdjur, fåglar, insekter, samt vilka beteenden hos de olika arterna som påverkas mest av ljusföroreningar. Vidare studeras det artificiella ljusets användning i dagens stadsmiljö och hur ljusets färgspektrum kan anpassas för att minska ljusföroreningar. Undersökningen har genomförts som en litteraturstudie av vetenskapliga artiklar, kommunala riktlinjer, ljussättningshandböcker och annan relevant litteratur.

Resultatet visar att ljus med korta våglängder (blått ljus) har störst påverkan, eftersom det liknar dagsljuset och rubbar den cirkadianska rytmen som är biologiskt inbyggd hos både djur och människa. De beteenden som påverkas varierar mellan grupper, men också arter. Hos däggdjur är det främst bländning och negativ fototaxi, hos fåglar påverkas födosök och hos insekter är dammsugningseffekten, en konsekvens av positiv fototaxi, som är de mest framträdande effekterna. Längre våglängder (rött ljus) har visats påverka minst och endast ett fåtal arter kan uppfatta dessa frekvenser.

Även om de kortare våglängderna har störst påverkan, är trygghet och säkerhet i fokus vid ljussättning i stadsmiljön, vilket är anledningen till att vitt ljus används i så stor utsträckning. Även om rött ljus är mest skonsamt för de arter som behandlats i studien är frekvensen svårimplementerad i stadsmiljön. Bärnstensfärgat ljus kan istället vara en lösning med mindre påfrestningar än det vita ljuset, där minskad ekologisk påverkan påvisats utan att riskera de aspekter som prioriteras i det urbana samhället. Studien understryker även vikten av att planera in mörka korridorer i stadsrummet, eftersom fragmentering av livsmiljöer, till följd av urbaniseringen, kan leda till minskad genetisk variation, som i sin tur leder till känsligare populationer av djur.

Nyckelord: Ljusföroreningar, artificiellt ljus, nattaktiva arter, färgspektrum färgseende, ljussättning, urbana miljöer

Abstract

The growing environmental problem caused by light pollution, driven by urbanization, affects the natural conditions that have existed for millions of years. This study explores which light frequencies have the greatest impact on a selection of Sweden's most common nocturnal mammals, birds and insects, as well as which behaviours change in the different species, as a result of light pollution. Furthermore, it examines the use of artificial light in urban environments and how the light spectrum can be adapted to mitigate light pollution. The study was conducted as a literature review of scientific articles, municipality guidelines, handbooks in lightning and other relevant sources.

The results indicate that light with shorter wavelengths (blue light) has the greatest impact, because it resembles daylight and therefore disrupts the circadian rhythm that is biologically innate in both animals and humans. The behaviours most impacted vary between the groups, and also species. For mammals the most common effects are glare and negative phototaxis, for birds it is

their foraging ability and for insects it's getting trapped around light sources, a consequence from positive phototaxis. Longer wavelengths (red light) have shown to impact the least and only a few species can perceive these frequencies.

Even though the shorter wavelengths have the greatest impact on wildlife, safety and security is the main focus for lighting in urban environments, which explains why the white light is used so widely. Even if the red light is less harmful for the species in this thesis, the longer frequencies are difficult to implement in the city environment. Amber light might instead be a solution that doesn't jeopardize the aspects prioritised in urban areas and is less disruptive for animals and humans. The study also emphasizes the importance of dark corridors in the urban landscape, because of the fragmentation of the habitats that the urban environment can cause, which consequently can cause less genetic variation that in the long run leads to more sensitive animal populations.

Keywords: light pollution, artificial light, nocturnal species, light spectrum, colour vision, lighting, urban environments

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| Förord | 3 |
| Figurförteckning | 8 |
| Förkortningar | 9 |
| 1. Inledning | 10 |
| 1.1 Syfte | 10 |
| 1.2 Frågeställningar | 11 |
| 1.3 Avgränsningar | 11 |
| 2. Bakgrund | 12 |
| 2.1 Historisk användning av ljus | 12 |
| 2.2 Juridisk reglering | 12 |
| 2.3 Vad är ljus? | 14 |
| 2.3.1 Det synliga spektrumet | 16 |
| 2.3.2 Nattens naturligt ljus | 16 |
| 2.3.3 Artificiellt ljus på natten | 17 |
| 3. Metod och material | 19 |
| 4. Resultat | 21 |
| 4.1 Däggdjur | 21 |
| 4.1.1 Seende | 21 |
| 4.1.2 Beteenden som påverkas av ALAN | 23 |
| 4.2 Fåglar | 24 |
| 4.2.1 Seende | 24 |
| 4.2.2 Beteenden som påverkas av ALAN | 24 |
| 4.3 Insekter | 25 |
| 4.3.1 Seende | 25 |
| 4.3.2 Beteenden som påverkas av ALAN | 26 |
| 4.4 Det artificiella ljusets påverkan på människan | 27 |
| 4.5 Ljuset i staden | 27 |
| 4.5.1 Trygghet | 27 |
| 4.5.2 Säkerhet | 29 |
| 4.5.3 Estetik | 29 |
| 4.5.4 Ekologi | 30 |
| 5. Diskussion | 33 |
| 5.1 Frekvenser med störst påverkan | 33 |
| 5.2 Beteenden som påverkas mest | 33 |
| 5.3 Tillämpning av ljusets färg i stadsmiljö | 34 |
| 5.3.1 I dagens samhälle | 34 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 5.3.2 Framtida möjligheter | 35 |
| 5.4 Metoddiskussion | 37 |
| 5.5 Vidare studier | 37 |
| Referenser | 39 |
| Figurlista | 43 |
| Bilaga 1 | 44 |

Figurförteckning

| | |
|---|----|
| Figur 1. Natura 2000-områden utmarkerade i grönt. Källa: EEA (2021). CC BY 4.0. | 14 |
| Figur 2. Det elektromagnetiska spektrumet som visar samband mellan färg, frekvens och våglängd. Källa: Oliveira 2009, översatt | 15 |
| Figur 3. Illustration på Rayleigh-spridning Källa: Backstr 2011. CC BY 3.0. | 16 |
| Figur 4. Ljusets färgspektrum med ungefärlig våglängd i nanometer (nm). Källa: Egen illustration skapad efter Jägerbrand (2018). | 16 |
| Figur 5. Karta över ljusföroreningars spridning i Norden. Källa: Lorenz 2024. | 17 |
| Figur 6. Illustration av ekolokalisering hos fladdermöss Källa: A proietti 2012. CC BY-SA 3.0. | 23 |
| Figur 7. Exempel på överblickbart lek- och aktivitetsområde intill Rosendals skola i Uppsala. Foto: Anja Schröder..... | 28 |
| Figur 8. Ljusinstallation från Allt ljus på Uppsala 2018. Foto: Anja Schröder | 30 |
| Figur 9. Genomfart i Stadsskogen, Uppsala med upplyst gång- och cykelbana, samt bilväg med varierande färg på ljuset. Foto: Anja Schröder..... | 31 |
| Figur 10. Den röda belysningen längst Vindbrovägen, Uppsala. Foto: Anja Schröder | 32 |
| Figur 11. Exempel på reflex i vitt, respektive rött ljus, på olika avstånd. Visar att det röda ljuset reflekteras effektivt på nära håll, men försämras snabbare än vitt ljus på långt avstånd. Foto: Anja Schröder | 35 |

Förkortningar

| Förkortning | Betydelse |
|-------------|-------------------------------|
| SLU | Sveriges lantbruksuniversitet |
| ALAN | Artificial light at night |
| Nm | Nanometer |
| UV-ljus | Ultraviolettt ljus |
| EU | Europeiska unionen |

1. Inledning

Energien från solen är källan till allt liv på jorden och djur och växter har evolutionärt formats av solljuset. En av de centrala anpassningar som uppstått hos djur är informationsinhämtning via reflektioner av solljuset, det vill säga synsinnet (Hufnagel 2022). Det är vad som gör mörkret på många sätt minst lika viktigt och en mängd arter har anpassat sig till de låga ljusförhållandena som råder under nattetid, för att bland annat undvika konkurrens från rovdjur eller utnyttja andra arters anpassning till dagsljuset. Den cirkadianska rytmen, eller den naturliga dygnsrytmen, och den cirkannuella rytmen, vilket är en inbyggd indikator på årstidsförändringar, har uppstått för att möjliggöra sådana strategier (Gaston et al. 2013).

I modern tid, i samband med urbaniseringen, följer det artificiella ljus som människan använder sig av, vilket rubbar balansen i de naturliga ekosystem som utvecklats under miljoner år och hotar nu arter som evolutionärt specialiserat sin överlevnad kring förekomsten av mörker (Hufnagel 2022).

För mycket ljus utöver det naturliga rubbar de naturliga beteenden som utvecklats i samband med mörkret (ibid.). Inne i en stadskärna kan det artificiella ljuset överstiga 4000% mer än det naturliga ljuset (Hurley 2025).

Det är först under senare tid som artificiellt ljus och kopplingen om dess påverkan på djurs levnadsmönster forskats på mer ingående och resultaten visar tydlig inverkan på dess beteenden (Hufnagel 2022). Fokus ligger i många studier på sambandet mellan en specifik art eller särskilda faktorer, ofta ett urval av arter, där andra blir mer eller mindre exkluderade (Berger et al. 2020; Sordello et al. 2025). På grund av den snabba tillväxten av problemet finns ännu begränsad forskning om dess generella ekologiska påverkan. Samtidigt har intresset kring miljöfrågor ökat, vilket har gjort att studier inom ämnesområdet och att hitta lösningar på problemet därför blivit alltmer relevant. Den ökande kunskapsinsamlingen kan då bli ett verktyg inom stadsplanering och utvecklingen av urbana utemiljöer.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att sammanställa kunskapen om hur ett urval av Sveriges vanligaste arter av nattaktiva djur i stadsnära miljöer påverkas av olika ljusfrekvenser, samt vilka beteenden som ändras på grund av ljusföroreningar. Avsikten är också att utreda hur användningen av ljus ser ut i dagens samhälle,

samt vilka anpassningar och lösningar som är möjliga att tillämpa för att minska ljusföroreningar inom stadsplaneringen genom att ändra på ljusspektrumet.

1.2 Frågeställningar

1. Vilka ljusfrekvenser har störst påverkan på de valda nattaktiva djur?
2. Vilka faktorer hos de olika djurarterna påverkas mest?
3. Hur används ljus i dagens städer och hur kan ljusets färg ändras för att minska ljusföroreningar i stadsplaneringen?

1.3 Avgränsningar

Ljusföroreningar påverkar många delar av ett ekosystem, men studien kommer avgränsas till att utforska endast ett urval av landlevande däggdjur, fåglar och insekter som är aktiva under nattetid. Det finns flera aspekter av det artificiella ljuset som har inverkan på djurens biologiska processer och beteendemönster, men fortsättningsvis kommer endast färgen på ljuset hanteras. Studien kommer även att begränsas till svenska förhållanden och därför endast arter som lever i Sverige. Eftersom studien är fokuserad på att undersöka ljusföroreningar specifikt i stadsmiljö, är det endast allmän mark som kommer behandlas, då privat mark förekommer i större utsträckning utanför staden.

2. Bakgrund

2.1 Historisk användning av ljus

Människan har historiskt sett varit benägen att lysa upp sin omgivning för att kunna orientera sig och känna trygghet i mörkret. Till en början påverkades andra arter obetydligt, eftersom människans utbredning var begränsad (Hufnagel 2022), med användning av eld, som till exempel facklor. Under början på 1800-talet blev London den första staden med gasdriven gatubelysning, där lamporna behövde släckas och tändas för hand. Inte långt efter blev detta normen i flera städer runt om i världen (Skoglow 2020).

Från det att tillämpningar av elektriciteten ökade under slutet av 1800-talet och spreds världen över ändrades gatubelysningen och eldrivna lampor började snabbt konkurrera ut de tidigare gaslamporna (ibid.).

Historiskt har den valbara spektralfördelningen varit begränsad, exempelvis har traditionella ljuskällor såsom högtrycksnatriumlampor med en gul-orange ton eller metallhalogenlampor med en vitare ton använts. I samband med att LED-belysning blivit dominerande under senare tid så har valmöjligheterna ökat. LED-lampor har blivit ett mer energi- och kostnadseffektivt alternativ, bland annat på grund av dess livslängd och minimala underhålls krav, samt även säkerhetsaspekter eftersom de i regel ger bättre synbarhet i trafiken. Äldre lampor byts därför successivt ut, dock oftast till ett vitt, dagsljusliknande alternativ. Vikten att studera ljusets ekologiska påfrestningar blir därför allt viktigare, då LED-belysningen är anpassningsbar och dess tekniska förutsättningar ger möjlighet att välja ljusets färg (Jägerbrand 2018).

2.2 Juridisk reglering

I Sverige finns i dagsläget inga lagstiftningar som specifikt ställer krav på begränsning av ljusföroreningar, men lagar kring exempelvis bevarande av biologisk mångfald och angående störningar av arters livsmiljöer är tillämpbara gällande miljöeffekter som ljusföroreningar kan bidra till. Även begränsningar som syftar till att minska negativ påverkan på människans välmående finns nämnt i lagen.

Det finns flera lagar som kan vara aktuella, men Miljöbalken (SFS 1998:808) är mest relevant. Det är lagstiftningen som tar upp bland annat bevarande av värdefulla naturmiljöer, skydd av människans hälsa och miljö, att gynna den

biologiska mångfalden och att mark, vatten och fysisk miljö ska användas på ett långsiktigt hållbart sätt. Nedan följer några exempel där ljusföroreningar möjligen kan vara en faktor att beakta:

I Kap 2, som handlar om hänsynsregler står det:

3 § 'Alla som bedriver eller avser att bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd skall utföra de skyddsåtgärder, iaktta de begränsningar och vidta de försiktighetsmått i övrigt som behövs för att förebygga, hindra eller motverka att verksamheten eller åtgärden medför skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön. I samma syfte skall vid yrkesmässig verksamhet användas bästa möjliga teknik.'

I Kap 7, som behandlar skydd av områden, kan lagstiftning kring biotopskydd och strandskyddsområde vara relevant:

11 § "Inom ett biotopskyddsområde får man inte bedriva en verksamhet eller vidta en åtgärd som kan skada naturmiljön.", samt 13 § "Strandskyddet syftar till att långsiktigt (...) bevara goda livsvillkor för djur- och växtlivet på land och i vatten. "

Kap 9 tar upp hur miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd ska tas hänsyn till:

§ 3 "användning av mark, byggnader eller anläggningar på ett sätt som kan medföra olägenhet för omgivningen genom buller, skakningar, ljus, joniserande eller icke-joniserande strålning eller annat liknande.' (...) 'Med olägenhet för människors hälsa avses störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka hälsan menligt och som inte är ringa eller helt tillfällig. "

Artskyddsförordningen (2007:845) tar exempelvis upp de regler som gäller kring fridlysning, där skyddet har olika omfattning beroende på art. I Fågeldirektivet beskrivs att alla vilda fåglar är fridlysta i Sverige, vilket innebär att man inte får döda, skada eller fånga dessa arter eller deras bon eller ägg. Vissa fridlysta arter har även ett ännu starkare rättsligt skydd och den kategorin innefattar exempelvis alla fladdermusarter. I 4 a § beskrivs att det för dessa arter är förbjudet att:

1. avsiktligt fånga eller döda djur,
2. avsiktligt störa djur, särskilt under djurens parnings-, uppfödning-, övervintrings- och flyttperioder,
3. avsiktligt förstöra eller samla in ägg i naturen, och
4. skada eller förstöra djurens fortplantningsområden eller viloplats. "

Det finns även ett livsmiljödirektiv som reglerar Natura 2000-områden. Dessa områden finns utspridda i hela EU och är till för att bevara skyddsvärda och hotade arter och naturtyper. Genom att skapa ett nätverk av områden med

naturvärden genom hela Europa är målet att bevara den biologiska mångfalden internationellt. I Sverige finns ca 4000 Natura 2000-områden (se figur 1) och innefattar en mängd olika naturtyper, såsom alvarmarker, fjordar och myrar (Naturvårdsverket 2024).



Figur 1. Natura 2000-områden utmarkerade i grönt. Källa: EEA (2021). CC BY 4.0.

2.3 Vad är ljus?

För att vidare utforska ämnet behövs först en förståelse för vad ljus är, hur det sprider sig och vad som innefattas inom synligt ljus. Även en genomgång om vad som ingår i naturligt och artificiellt ljus kommer att beröras i nedanstående kapitel.

Ljus är elektromagnetisk strålning och är det närmaste ren energi som finns. Det beter sig som både vågor och partiklar (fotoner), vilket kallas vågpartikeldualitet (Slaney 2016).

Ljusets hastighet är konstant, vilket är en fundamental regel inom fysiken. Färgen på ljuset beror på våglängden och det finns ett samband med frekvensen enligt:

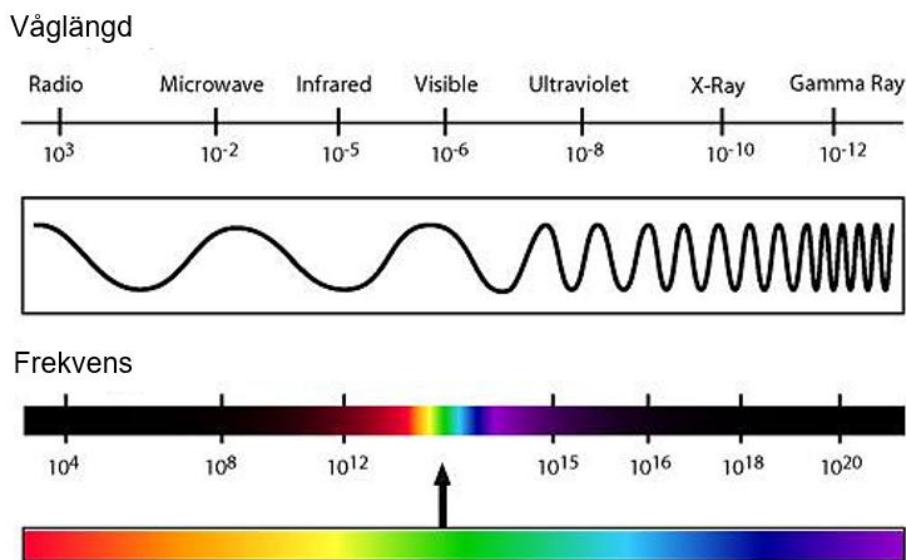
$$f \times \lambda = c$$

f = frekvens (antal vågtoppar/sekund), mäts i hertz (Hz).

λ = våglängd (avståndet mellan vågtoppar), mäts i nanometer (nm) när man pratar om synligt ljus.

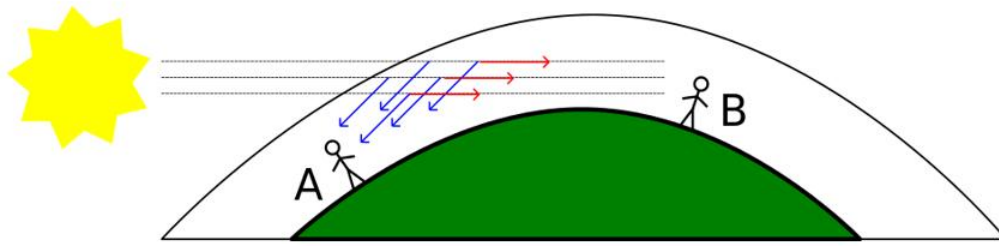
c = ljusets hastighet, mäts i meter/sekund (m/s).

Det gör att man för en viss frekvens alltid har samma våglängd, vilket främst gäller ljus, eftersom dess hastighet är konstant. Formeln visar att en färg med kort våglängd har hög frekvens och vice versa (se figur 2) (Urone & Hinrichs 2012).



Figur 2. Det elektromagnetiska spektrumet som visar samband mellan färg, frekvens och våglängd. Källa: Oliveira 2009, översatt

Blått ljus sprids mer i atmosfären än ljus med längre våglängder. Det gör att, av solens ljus som innehåller alla färger, sprids det blåa ljuset mest, vilket är anledningen till att himlen upplevs ha en blå färg. Detta fenomen kallas Rayleigh-spridning. Det ger även effekten att himlen ändrar färg på morgon och kväll åt det mer gula-röda hållet, då solljuset går en längre sträcka genom atmosfären, då det blåa ljuset tunnas ut av spridningen på vägen medan det rödare ljuset fortsätter (se figur 3) (Barrow 2024).



Figur 3. Illustration på Rayleigh-spridning Källa: Backstr 2011. CC BY 3.0.

2.3.1 Det synliga spektrumet

Det synliga ljuset är endast en väldigt liten del av det elektromagnetiska spektrumet (se figur 2). En stor del av solens energi som når jordens yta är inom det synliga spektrumet, vilket är anledningen till att livet på jorden har anpassats och evolverat utifrån de förutsättningarna. Människan har ett trikromatiskt färgseende, alltså känslighet för tre färger: rött, blått och grönt. Det finns inga exakta gränser på det synliga ljusets spektrum, men det brukar anses vara ungefär inom intervallet 400-700 nm (se figur 4), varierande på mänskliga faktorer, som exempelvis ålder eller färgblindhet (Barrow 2024). Sedan kan vissa arter även uppfatta ljus utanför detta intervall, såsom ultraviolett ljus (10-400 nm) eller infrarött ljus (700-1 000 000 nm) (Jägerbrand 2018).



Figur 4. Ljusets färgspektrum med ungefärlig våglängd i nanometer (nm). Källa: Egen illustration skapad efter Jägerbrand (2018).

2.3.2 Nattens naturliga ljus

Det finns flera källor till naturligt ljus som är vanligt förekommande under natten: mån- och stjärnljus, zodiakalljus och luftglöd (Hufnagel 2022).

Månens ljus är endast en reflektion av solens ljus, fast med 400 000 gånger lägre intensitet. På grund av detta speglar dess färgspektrum även solens, dock något mer rött (Barrow 2024).

Zodiakalljus uppstår när solljus reflekteras från stoftpartiklar i rymden, alltså speglar det, precis som månen, solens färgspektrum. Namnet kommer från att ljuset förekommer längs zodiaken, den bana som solen upplevs flytta sig över

himlen över spannet av ett år. Det är ett väldigt svagt ljus som främst syns där natthimlen inte förorenas av artificiellt ljus, samt när månljuset är svagt (SKYbrary u.å.).

Luftglöd uppstår högt upp i atmosfären och är ett fenomen som skapas av att atomer och molekyler, vars elektroner exciterat efter att ha absorberat solenergi, hoppar tillbaka och avger sin överflödiga energi och då utstrålar olika färger av ljus. Det kan även uppstå när atomerna eller molekylerna joniserats, i samband med att jonerna tar upp nya elektroner. Vilken färg som framträder kan bero på flera faktorer, exempelvis vilken gas som exciteras, hur det sker och var i atmosfären den befinner sig (Mersmann 2018).

2.3.3 Artificiellt ljus på natten

Med *artificiellt ljus* menas allt ljus som är antropogent, alltså framställt av människan. Det är dessa ljuskällor som är den bidragande faktorn till att ljusföroreningar uppstår (se figur 5). Begreppet ljusförorening har använts länge, men fokus har tidigare legat på människans möjlighet att se stjärnorna på natthimlen, istället för på dess ekologiska påverkan på levande organismer (Hufnagel 2022). Vidare kommer fokus vara på den senare och begreppets definition kommer vidare vara: oönskat eller överflödigt ljus som ändrar naturliga ljusförhållanden som råder i ett ekosystem under mörka perioder av dygnet, också kallat *artificial light at night (ALAN)*. Det innefattar allt artificiellt ljus, både rörliga och fasta ljuskällor, samt temporära installationer (Jägerbrand 2018).



Figur 5. Karta över ljusföroreningars spridning i Norden. Källa: Lorenz 2024.

Artificiellt ljus i utomhusmiljöer ökade med 3-6% per år från mitten av 1900-talet fram till millennieskiftet och ökar fortfarande. Mellan 2012-2016 ökade det med 2.2% varje år världen över, där endast ett fåtal länder under perioden visade stabila värden eller en minskning (Kyba et al. 2017). Minskningen kan bero på ökad medvetenhet och forskning inom ämnet och att mindre ljusförorenande lösningar då har tillämpats för att reducera ALAN (Owens & Lewis 2018).

Den vanligaste färgen på artificiella ljuskällor som förekommer i utomhusmiljöer är vitt ljus, vilket skapas av en blandning av andra färger, ofta blått ljus och grön-gul-rött ljus och inte alltid begränsat till våglängder synliga för människan. Ljuset från dessa lampor kan innehålla upp till 40 % blått ljus (Dick 2018). Det vita ljuset används främst på grund av dess upplevda synbarhet för människans öga (Jägerbrand 2018).

3. Metod och material

För att svara på frågeställningarna har en litteraturstudie genomförts. Materialet samlades till störst del från SLU:s söktjänst Primo. Även ett urval av andra källor användes för att kunna utveckla, förtydliga eller förklara viss information, främst i bakgrundskapitlet. Vetenskapliga artiklar valdes utifrån de översta resultaten i sökningarna, samt fokus på artiklar med ett nyare utgivningsår, för att använda den nyaste forskningen inom ämnet. Detta för att ämnet forskats mer på under senare år och dessa artiklar ansetts vara mest relevanta för att denna studie skulle vara så aktuell som möjligt. Därefter lästes och utvärderades materialet och vidare insamling av källor gjordes, då även från referenslistan på tidigare valda artiklar.

För att kunna besvara vilka ljusfrekvenser som har störst påverkan på de olika arterna har först en sammanställning gjorts av dess synsinne och färgspektrum. Därefter gjordes en genomgång av vilka beteenden som främst påverkas av det artificiella ljuset. Litteraturen som använts har främst varit vetenskapliga artiklar, samt rapporten LED-belysningens effekter på djur och natur med rekommendationer av Jägerbrand (2018). Rapporten hittades i ett tidigt skede som en referens i ett flertal andra tidigare studentarbeten av studenter från SLU. Boken Mörkermanifestet av Eklund (2020) har också varit en källa som används i stor utsträckning. Ekologen Marcus Hedblom tipsade om boken via mejl, efter att handledaren rekommenderade att kontakta honom för att fråga om relevanta källor.

De vetenskapliga artiklarna söktes fram successivt utifrån vilken art som undersöktes. Sökningar med exempelvis djurets namn tillsammans med light pollution, colour vision, wavelength, artificial light gjordes för att få så relevanta sökresultat som möjligt. Ordet 'nocturnal' användes också i flera sökningar för att begränsa resultaten vidare. Några exempel på exakta sökningar som användes var: hedgehog AND light pollution, fox AND wavelength, nocturnal mammals AND artificial light, bats AND wavelength, nocturnal insects AND light pollution. Sökningarna gjordes främst på engelska för att få ett bredare urval, då sökningar på svenska gav väldigt begränsade resultat, om några alls.

Därefter analyserades ljusets roll i urbana sammanhang utifrån bland annat boken Ljussätt staden: En handbok om ljusdesign i offentlig miljö av Lind (2021), samt personlig mejlkontakt med författaren, där frågor ställdes om hur en ljusdesigner förhåller sig till ljusets påverkan på nattaktiva djur och om det är något som tas hänsyn till inom yrket (se bilaga 1). Valet baserades på ett tips från handledaren om att kontakta Marianne Lind via mejl, vilket också är anledningen till att boken hon skrivit hittades.

Riktlinjer för kommunal verksamhet, i Stockholm och Uppsala, samt Trafikverkets vägbelysningshandbok valdes också för att ge en så heltäckande bild som möjligt av hur artificiellt ljus används i stadsmiljö. Trafikverket ansvarar för ungefär $\frac{1}{3}$ av belysning längst statliga vägar, där resterande del underhålls av olika kommuner (Trafikverket 2026). Detta motiverade valet att använda kommunala riktlinjerna och Trafikverkets vägbelysningshandbok som några av de mest relevanta källorna att förhålla sig till gällande belysningsfrågor. Uppsala valdes för att jag själv bor i staden och har kunnat hitta egna lokala exempel på det som nämns i kommunens riktlinjer. För att få ett bredare perspektiv valdes ytterligare en kommun att jämföra med och då har Stockholms riktlinjer använts. Valet baserades främst på stadens storlek och att landets huvudstad bör vara i framkant i dessa frågor.

4. Resultat

I nedanstående kapitel kommer däggdjurs, fåglars och insekters syn och färgspektrum behandlas, samt vilka beteendeförändringar hos de olika grupperna som tydligt kan kopplas till ALAN. Några av de vanligaste nattaktiva däggdjuren i Sverige är grävlingar, rödrävar, igelkottar och fladdermöss (Björvall & Ullström 2010). De nattaktiva fåglarna som behandlas är ett flertal ugglearter och nattskärar, vilka nämns av Eklöf (2020) och de vanligaste insekterna innefattar bland annat ett antal nattfjärilar och skalbaggar (Owens & Lewis 2018). Det är dessa arter, samt hur ljuset påverkar människan, som kommer att tas upp här.

4.1 Däggdjur

4.1.1 Seende

Däggdjurs ögon innehåller fotoreceptorer som kallas tappar och stavar, vilka är ljuskänsliga celler som finns i näthinnan och har olika egenskaper. Tapparna används i ljusa förhållanden och det finns flera typer av tappceller som har olika känslighet för ljusets frekvenser. Ett däggdjurs färgseende avgörs av dessa celler. Stavarna är istället extremt ljuskänsliga och används främst i mörka förhållanden (Jägerbrand 2018).

Synsinnets förmåga styrs av när på dygnet de främst är aktiva. Ett dagaktivt djur har ett mer utvecklat fotopiskt seende (ljusseende) och nattaktiva arter har främst utvecklat sitt skotopiskt seende (mörkerseende), vilket reflekteras i dess fördelning av tappar och stavar, samt antal typer av fotoreceptorer. Däggdjur har hög variation när det gäller antalet tappar mot stavar, med en fördelning på 1:200 hos de flesta nattaktiva arter. De har dock i regel ett snävare färgseende än dagaktiva arter. De flesta nattaktiva däggdjur har två fotoreceptorer (dikromatiskt färgseende), med endast receptorer för blått och grönt och deras färgspektrum sträcker sig endast mellan cirka 365-565 nm (Gaston et al. 2013; Jägerbrand 2018). De har istället specialiserat sig på att uppfatta rörelser i mörker, med begränsad möjlighet att se detaljer, då det är en egenskap som präglas av tapparna (Jägerbrand 2018).

Flera nattaktiva arter har även ett vävnadsskikt beläget bakom näthinnan som kallas *tapetum lucidum*. Det fungerar genom att ljuset reflekteras och fotoreceptorerna kan uppfatta det två gånger, vilket ytterligare ökar dess förmåga att utnyttja väldigt små mängder ljus. Det är något som återfinns främst hos rovdjur, som rävar och fladdermöss, samt även hos grävlingen. Den enda art som

inte har vävnadsskicket av de däggdjursarter som behandlas i den här studien, är igelkotten (Jägerbrand 2018; Malkemper & Peichl 2018).

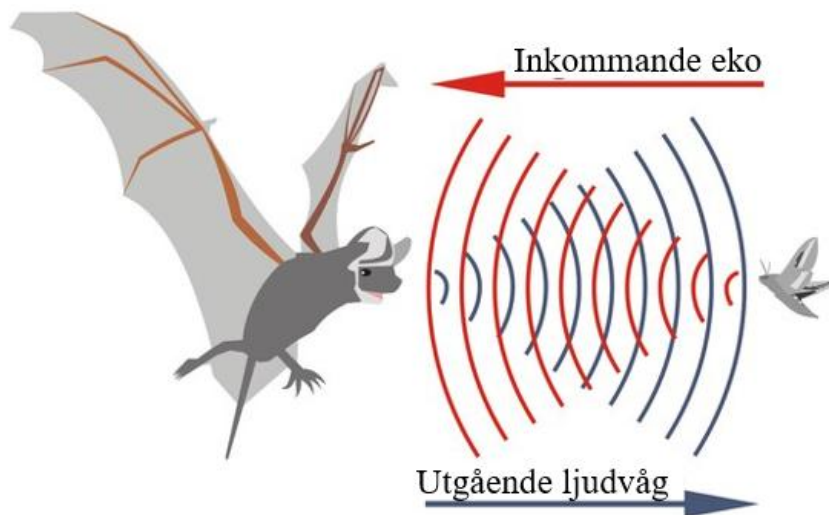
Igelkotten och grävlingen har relativt dålig syn och förlitar sig mer på sitt välutvecklade luktsinne för att födosöka, därav har inte deras syn utvecklats i samma grad som andra nattaktiva arters (Scottish badgers u.å.; National geographic u.å.). Det finns dock begränsad forskning om dess exakta färgspektrum, men troligtvis inkluderas de i arterna med dikromatiskt seende som behandlas i tidigare stycke.

Rödrävar däremot använder sig i större utsträckning av synen för att födosöka, men också hörseln. Deras ögon är stora och ger dem ökad känslighet för ljus, vilket är en vanligt förekommande anpassning till mörker hos nattaktiva djur. De har ett dikromatiskt färgseende som sträcker sig mellan cirka 430-550 nm (Malkemper & Peichl 2018).

Däggdjur som är nattaktiva är oftast känsligare för UV-ljus än dagaktiva arter, även fast de inte alltid har pigment som är specifikt känsliga för dessa våglängder. Igelkotten är ett av de däggdjur med högst känslighet för UV-ljus och kan uppfatta ljus ner mot 315 nm (Douglas & Jeffery 2014). Rävar och grävlingar har troligtvis också känslighet för UV-ljus utanför dess förmodade färgspektrum (Malkemper & Peichl 2018).

Fladdermöss skiljer sig dock från resten och är ett av de däggdjur med högst ljuskänslighet och är därmed väldigt känsliga för ljusföroreningar (Jägerbrand 2018). Deras ögon innehåller främst stavar, men också en liten andel tappar (1-2 %) som ger dem sitt färgseende (Voigt et al. 2017). Färgseendet varierar mellan arter, där vissa har två typer av tappar, medan andra även har känslighet för UV-ljus. Egenskapen har försvunnit hos flera arter beroende på dess ekologiska nisch och vissa arter har inte användning av ett bredare ljusspektrum, eftersom dess levnadsmönster kräver andra specialiserade egenskaper som vidareutvecklats istället (Gutierrez et al. 2018). I Sverige finns uteslutande insektsätande fladdermusarter (SLU Artdatabanken 2026), vilket troligtvis gjort att dessa fladdermusarters ljusspektrum reducerats, eftersom känslighet för UV-ljus främst används för att identifiera blommor och frukt (Gutierrez et al. 2018). Det finns dock insektsätande arter med känslighet för korta våglängder, som används vid mycket låga ljusförhållanden. Ljusspektrumet varierar alltså mellan arter, där vissa arter ser kortare våglängder än andra. Deras känslighet för längre våglängder överskrider sällan 500 nm, men det varierar också mellan arter (Jägerbrand 2018).

De förlitar sig annars främst på ekolokalisering vid födosök och för att orientera sig (Jägerbrand 2018), alltså högfrekventa läten, ultraljud, som studsar och avger ett eko som identifierar omgivande föremål och andra djur (se figur 6) (Eklöf 2020).



Figur 6. Illustration av ekolokalisering hos fladdermöss Källa: A proietti 2012. CC BY-SA 3.0.

4.1.2 Beteenden som påverkas av ALAN

Grävlingar, rävar och igelkottar visar tydliga tecken på negativ fototaxi, vilket innebär att de rör sig från ljuskällor och undviker dem i möjligaste mån (Berger et al. 2020; Sordello et al. 2025). ALAN är en störande faktor för arterna och kan bidra till fragmentering av deras livsmiljöer, vilket i sin tur påverkar flera aspekter, såsom födosök och möjlighet att hitta en partner att para sig med (Sordello et al. 2025).

På grund av dess syn i mörker är de också extremt känsliga för plötsligt starkt ljus, vilket kan förblinda nattaktiva arter i flera timmar (Hufnagel 2022).

Ljusföroreningar påverkar olika fladdermusarter olika mycket. Det finns både snabbflygande och långsamflygande arter, vars beteenden varierar beroende på ljusförhållanden. I samband med artificiella ljuskällor, som utstrålar ljus i korta våglängder, samlas snabbare arter för att utnyttja insekternas tendens att svärma kring dessa. Långsamflygande arter har motsatt beteendemönster och undviker istället ALAN (Spoelstra et al. 2017; Jägerbrand 2018; Hufnagel 2022). Det är dessa arter som främst missgynnas av ljusföroreningar, eftersom de blir mer sårbara för rovdjur i ljusare miljöer, vilket i sin tur försämrar deras

födosökmöjligheter (Zeale et al. 2018). Vad de båda har gemensamt är dock att de inte påverkas av rött ljus i samma utsträckning som av vitt och grönt. De visar samma beteendemönster och aktivitet i rött ljus som i mörker (Spoelstra et al. 2017).

Vissa fladdermusarter migrerar från Sverige under sensommaren och dessa har visats ha positiv fototaxi, alltså att de dras till ljuskällan, både till grönt och rött ljus, även när insekter inte är den bidragande faktorn. Fladdermöss använder sig av natthimlens kännetecken för att orientera sig i naturliga miljöer och det artificiella ljuset kan därför bidra till desorientering och förvirring (Voigt et al. 2017; 2018). Även om fladdermöss i allmänhet inte påverkas nämnvärt av rött ljus, verkar detta inte gälla alla arter och känsligheten kan bero på att migrerande arter använder sig mer av synen än andra arter, men det är endast spekulation (Voigt et al. 2018).

4.2 Fåglar

4.2.1 Seende

De flesta fågelarter är aktiva både dag- och nattetid och endast ett fåtal arter är strikt nattaktiva, såsom de flesta ugglor och nattskärria (Jägerbrand 2018; Eklöf 2020). Deras ögon är stora och extremt ljuskänsliga, vilket gör att de kan uppfatta väldigt små mängder ljus (Eklöf 2020). Ugglor förlitar sig även till stor del på sin hörsel för att identifiera och lokalisera sina byten i mörka förhållanden (Eklöf 2020; Sordello et al. 2025).

Ugglor är främst känsliga för ljus med kortare våglängder, i det blå spektrumet (400-500 nm) (Sordello et al. 2025). De har inte fotoreceptorer som är känsliga för UV-ljus, men kan ändå uppfatta våglängder ner till 350 nm och uppfattar sällan längre våglängder (> 550) (Höglund et al. 2019). Till skillnad från ugglan använder sig nattskärria främst av synen vid födosök och har också en hög andel stavar, samt tapetum lucidum för att skärpa synen ytterligare, vilket ugglan saknar (Eklöf 2020).

4.2.2 Beteenden som påverkas av ALAN

Ugglors födosök kan gynnas av ALAN och deras jaktbeteenden kan öka i svaga ljusförhållanden, vilket kan liknas med månljusets effekt i naturliga förhållanden. Dess primära föda är små däggdjur, såsom möss och sorkar, vilka blir inaktiva i för ljusa förhållanden. Det leder till att artificiellt ljus inte alltid är ett positivt inslag i ugglans födosök. Det kan istället göra att dess byten gömmer sig undan

under större del av dygnet än normalt om intensiteten på ljuset är för starkt (Sordello et al. 2025).

Nattskärnan använder sig av månens ljus i samband med födosök i naturliga förhållanden och artificiellt upplysta områden har en liknande effekt. De bygger dock sina bon på marken, som i ljusare miljöer blir mer utsatta för andra rovdjur, vilket då påverkar artens reproduktion och framtida överlevnad (Creemers et al. 2025; Adams et al. 2026).

Även om de flesta fågelarter är aktiva både dag- och nattetid migrerar majoriteten av arter under natten, inklusive nattskärnan (Eklöf 2020). Desorientering i samband med migration är ett känt fenomen som påverkar ett stort antal fåglar varje år. Fåglar attraheras till ljuset och blir förvirrade, vilket i sin tur leder till bland annat dödliga kollisioner med byggnader (Zhao et al. 2020).

Ljus med kortare våglängder, främst blått, attraherar fler fåglar än längre våglängder, såsom rött ljus, i samband med migration. Det finns dock en koppling mellan rött ljus och fåglars attraktion, men troligtvis endast hos de fåglar med ett bredare färgspektrum än strikt nattaktiva arter och attraktion till olika färger på ljus varierar beroende på specifika arters färgseende (ibid.). Det tyder på att påverkan på nattskärnan är begränsad.

4.3 Insekter

4.3.1 Seende

Insekter är en väldigt blandad grupp av arter, vilket speglas i en väldigt varierad syn beroende på levnadssätt, till vilket anpassningar har utvecklats (Jägerbrand 2018). Precis som hos däggdjur har de dagaktiva arterna ett bredare spektrum av synliga färger och anpassningen till mörker hos nattaktiva arter har reducerat detta och de ser ett mindre antal färger. De har även ett sämre detaljseende, för att istället ha ett optimerat mörkerseende. Alla insektsögon fungerar inte heller likadant, utan flera arters ögon har specialiserats och har olika egenskaper för att vidareutveckla sitt mörkerseende. Exempelvis superpositionsögon, vilket är en sorts fasettöga som ger väldigt hög ljuskänslighet, men där andra delar av synen offras. Superpositionsögon finns både hos nattfjärilar och en del nattaktiva skalbaggar (Owens & Lewis 2018).

Det synliga spektrumet varierar mellan de olika insektsarterna, men mellan 350-600 nm är den generella omfattningen. De är främst känsliga för korta våglängder,

alltså UV-ljus och blått ljus och uppfattar sällan våglängder långt över 600 nm, alltså orange-rött (Jägerbrand 2018).

4.3.2 Beteenden som påverkas av ALAN

Insekter har en tendens att attraheras till artificiella ljuskällor. Det beror på att de använder sig av positiv fototaxi för att navigera. De följer natthimlens, främst månens, ljus och genom att förhålla sig till detta i en specifik vinkel kan de orientera sig (Owens & Lewis 2018; Eklöf 2020).

I urbana miljöer försämras natthimmelens synbarhet och insekternas orienteringsförmåga störs. De misstar artificiella ljuskällor för månen och stjärnorna, men eftersom ljuskällan är belägen betydligt närmre blir de förvirrade och det slutar med att de svärmar kring lampan. En lampa kan attrahera insekter från 500 meter bort, ibland även längre avstånd. Det beror på vilka ljusförhållanden som råder kring ljuskällan, till exempel ökar avståndet om det är lite ljus runt omkring. Fenomenet kallas dammsugningseffekten och har förödande konsekvenser för nattaktiva arter (Jägerbrand 2018). De hamnar i ett väldigt utsatt läge och mellan 30-40% dör för att de blir utmattade, överhettade, uppätta eller kolliderar (Owens & Lewis 2018).

I större skala attraheras insekter av städernas ljus och lämnar landsbygden. Det är inte nödvändigtvis antalet arter som minskar, men det finns tydliga bevis på att antalet individer minskar drastiskt, vilket förändrar hela ekosystem. Det är inte endast ljusföroreningar som gör att insekter dör intill urbana miljöer, men det är en bidragande faktor (Eklöf 2020).

Som tidigare nämnts, under kapitlen som tar upp fladdermöss och fåglar, påverkas också interaktioner mellan rovdjur och bytesdjur på grund av dammsugningseffekten, vilket då insektsätande rovdjur utnyttjar eftersom det underlättar deras födosök och insekternas population minskar till följd av detta (Zeale et al. 2018).

En annan faktor som ALAN kan påverka är insekters förmåga att urskilja och identifiera objekt, och precis som fåglar och däggdjur, kan insekter också förblindas av starka ljuskällor. De kan bli tillfälligt påverkade, men det kan också leda till permanenta skador på synen och i värsta fall blindhet (Owens & Lewis 2018).

Även den biologiskt inbyggda cirkadianska rytmen och den cirkannuella rytmen kan rubbas av ALAN, vilket i sin tur kan störa flera biologiska processer, såsom

parningsbeteenden och födosök (Owens & Lewis 2018). Insekter utsöndrar också feromoner för att kunna kommunicera sinsemellan. Skymningen är en indikation för insekterna att börja utsöndra ämnet, men om det blir svårare att urskilja när det uppstår på grund av ALAN, kan utsöndringen hämmas (Eklöf 2020).

Insekter använder sig naturligt av vattenspeglar för att identifiera vatten, vilket beror på att ljuset sprider sig annorlunda i jämförelse med andra material. Flera arter lägger ägg i vatten för att det ger gynnsamma förhållanden för insekternas tidiga stadier. I urbana miljöer skapas falska vattenytor på exempelvis hårdgjorda ytor, billack och glas, vilket uppstår på grund av att de upplevs vattenlika. Det leder till att insekterna lägger sina ägg på fel ställen och dess överlevnad hotas (Eklöf 2020).

4.4 Det artificiella ljusets påverkan på människan

Artificiellt ljus med korta våglängder (främst blått och grönt ljus) har bevisats påverka människan, precis som hos andra djur. Kroppen förknippar det artificiellt blå ljuset till dagsljus och den naturliga produktionen av melatonin påverkas. Hormonet utsöndras utifrån den naturliga dygnsrytmen och i samband med ALAN kan produktionen hämmas, vilket i sin tur kan leda till ökad stress, sömnproblem, depression, diabetes, övervikt (Jägerbrand 2018; Eklöf 2020). Melatonin är en viktig byggsten i flera processer i kroppen, exempelvis för immunförsvaret, där hämmande av hormonet också kan öka risken för bildning av hormon känsliga tumörer (Eklöf 2020).

4.5 Ljuset i staden

Det finns många anledningar till ljussättning i stadsmiljö: trygghet, säkerhet, estetiska värden, samt ekologiska anpassningar är några av de vanligaste och är de som kommer behandlas i nedanstående kapitel.

4.5.1 Trygghet

Människan är främst aktiv under dagtid och ljuset har sedan lång tid tillbaka förknippats med trygghet. Rädslan för mörkret har hört till den genetiskt inbyggda överlevnadsinstinkten och tendensen att lysa upp omgivningen är en följd av detta. Ögat har ett relativt välutvecklat mörkerseende, men det kan ta upp till en halvtimme att vänja sig vid mörka förhållanden och fungera optimalt. Det tar också endast en snabb blick på en ljuskälla för mörkerseendet att försvinna och processen att behöva börja om igen (Eklöf 2020).

Trygghetsaspekten är ofta fokus vid ljussättning i urbana miljöer, för att människan ska kunna röra sig genom staden utan obehag (Stockholm stad 2023, Lind 2021; Uppsala kommun 2022). Gidlund (2024) menar att grundprincipen för alla gator inom en tätort är att de ska vara belysta i trygghets- och säkerhetssyfte. Dessa går i många situationer hand i hand och många åtgärder som främjar den ena ger också underlag för den andra.

Vilka platser som ska ljussättas och hur de ska utformas beror på människans rörelsemönster och beteenden. I en stad är belysning mellan viktiga målpunkter prioritet och det ska vara enkelt att navigera mellan dessa platser. För att öka trygghetskänslan bör platsen även vara överblickbar (se figur 7) och ge möjligheten att se förbipasserandes ansikten, exempelvis en belyst gångbana kan upplevas tryggare om även ett område runt vägen är belyst. Även hur man belyser ett torg för att kunna överblicka området kan ge en känsla av trygghet (Lind 2021).



Figur 7. Exempel på överblickbart lek- och aktivitetsområde intill Rosendals skola i Uppsala. Foto: Anja Schröder

Upplagd trygghet ligger till grund för flera andra aspekter. Det bidrar till förbättrad folkhälsa, då fler människor går ut och rör på sig även under mörkare delar av dygnet. Ljuset kan även skapa en trivsammare miljö och en mer levande stad, vilket gynnar företag vars verksamhet är öppen på kvällstid, såsom restauranger och barer. En vackert upplyst stad kan också locka turismen, vilket gynnar ur ett ekonomiskt perspektiv (ibid.).

4.5.2 Säkerhet

Säkerhetsaspekten är, som tidigare nämnts, en annan högt prioriterad anledning till ljussättning i stadsmiljö (Stockholm stad 2023, Lind 2021; Uppsala kommun 2022; Gidlund 2024). Ljus kan användas i brottsförebyggande syfte, då upplysta platser kan öka upptäcktsmöjligheten för brottslighet, samt ökar ofta platsens besöksantal, vilket också kan ha samma effekt. Det är inte självklart att brottsligheten minskar på grund av ljussättning, men det kan bidra till att utvalda platser blir mindre utsatta. För att få en överblick över var det kan behövas belysning för att minska brottslighet kan ett samarbete med lokalpolis upprättas för att få en uppfattning om problemområden. Det är dock viktigt att tänka på var man ljussätter för att inte skapa falsk trygghet (Lind 2021).

Säkerhetsaspekten innefattar inte endast minskad brottslighet, utan även säkerhet och synbarhet i trafiksammanhang. Ljus används där gång- och cykeltrafik möter biltrafiken och kan bidra till ett färre antal olycksfall (Jägerbrand 2018; Lind 2021; Gidlund 2024). Det är viktigt att ljuskällor placeras lämpligt för att bidra till säkerheten i så stor utsträckning som möjligt, exempelvis genom att ta hänsyn till intilliggande ljussättning och anpassa belysningen därefter. Om endast vägbanan är upplyst, med mörka partier omkring, kommer ögat vänja sig vid detta och möjligheten att upptäcka trafikanter intill vägen försämras. Det är alltså extra noga med god belysning kring exempelvis övergångsställen, cirkulationsplatser och korsningar. Om mer ljus placeras ut intill dessa kan det uppmärksamma trafikanter att omständigheterna förändras (Gidlund 2024). Vid dessa platser uppmanas att använda vitt ljus (ofta varmvitt), eftersom det ger bäst återgivning av färger och dess kontraster, vilket är lämpligast vid platser med höga krav på synbarheten (Lind 2021; Gidlund 2024).

Den allmänna synförmågan påverkas i mörka förhållanden, där reaktionsförmågan och möjligheten att se faror försämras. Det är ett fenomen som människan i regel har dålig koll på och därför inte tar hänsyn till när de kör, vilket vidare visar problematiken med mörkret i trafiksammanhang där biltrafiken möter gående och cyklister. God belysning ger också oskyddade trafikanter upplevelsen av trygghet att förare ser dem (Gidlund 2024).

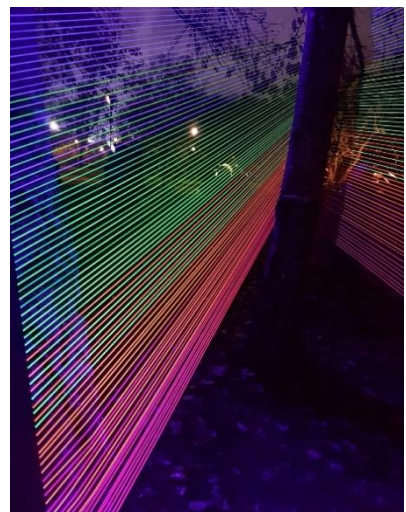
4.5.3 Estetik

Det finns även ljuskällor som främst fyller en estetisk funktion. Belysning kan skapa stadens identitet och lyfta fram det som är speciellt för en specifik stadsdel, som boende i området identifierar sig med. Ljuset bidrar till stadens karaktär genom att framhäva arkitektoniska element som representerar staden (Uppsala kommun 2022; Stockholm stad 2023). Tidigare har gatubelysningen i stadsmiljö

endast tänkts fylla en säkerhets- och trygghetsfunktion, men under senare tid har dessa implementerats i stadsrummets helhet och valet av exempelvis färg, placering eller armatur planeras även bidra till det estetiska (Gidlund 2024).

Att ha en genomgående enhetlig ljussättning i ett område bidrar till en estetiskt tilltalande miljö och till upplevelsevärde på platsen. Det kan göras genom att exempelvis välja samma färgtemperatur på belysningen, vilket i många fall är varmvitt. Andra färger på ljus används främst i specialprojekt i stadsmiljö, exempelvis för att skapa stämning, förstärka färgen på ett föremål, berätta en historia eller väcka känslor (Lind 2021).

Ett annat användningsområde för ljus i estetiskt syfte är ljusinstallationer som konstform eller upplysning av andra konstobjekt. Exempel på event där ljusinstallationer står i fokus är *Allt ljus på Uppsala* (se figur 8), som lockar ett stort antal besökare. År 2024 räknades 114 000 personer som tog del av eventet (Sternier 2024), samt *Nobel Week Lights* i Stockholm, troligen med ännu fler besökare. Större evenemang som dessa, men även enstaka konstinstallationer, kan också ge ökad trygghet, eftersom fler personer bevisligen rör sig genom staden för att besöka platserna (Lind 2021).

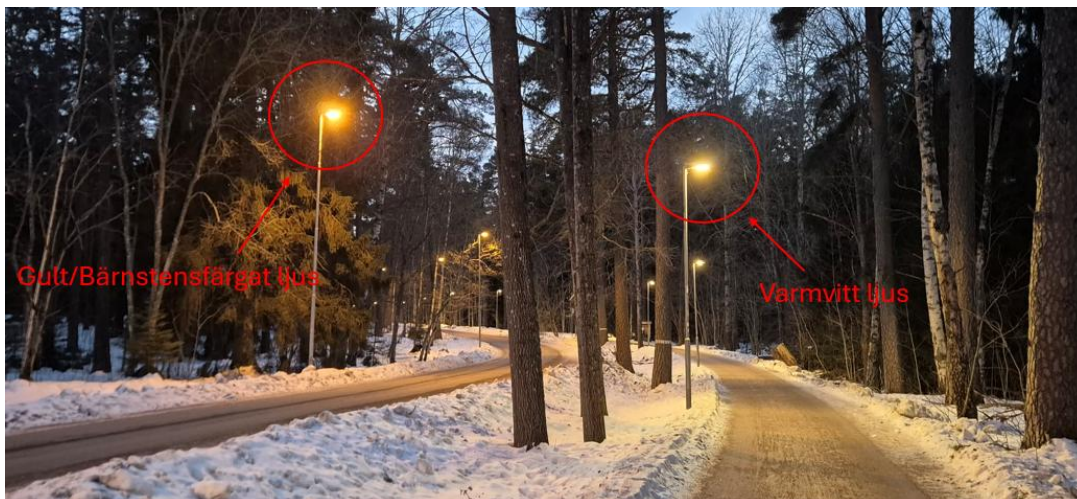


Figur 8. Ljusinstallation från Allt ljus på Uppsala 2018. Foto: Anja Schröder

4.5.4 Ekologi

Det finns många tillämpningar som kan göras för att påverka naturen och djurlivet i mindre utsträckning, exempelvis installation av ljuskällor med bärnstensfärgat ljus, som sträcker sig mellan ungefär 500-590 nm. Det innehåller inte blått ljus och har därför mindre ekologisk påverkan än vitt ljus. Det upplevs också ha bättre synbarhet än rött ljus och har mindre ekologisk påverkan än många andra frekvenser, bland annat dras cirka 50 % färre insekter till bärnstensfärgat ljus jämfört med ljus med blå inslag (Dick 2018).

Tillämpningar av ljuskällor som exkluderar de lägre våglängderna blir allt vanligare. Flera av källorna hänvisar till att varmvitt ljus bör användas framför kallvitt ljus i möjligaste mån (se figur 9). De lyfter upp att det varmvita ljuset har mindre påverkan på djurlivet och att det även upplevs trivsammare för människan (Lind 2021; Stockholm stad 2023; Gidlund 2024).



Figur 9. Genomfart i Stadsskogen, Uppsala med upplyst gång- och cykelbana, samt bilväg med varierande färg på ljuset. Foto: Anja Schröder

Landskapsarkitekt och ljusdesigner Lind (2026), berättar i ett mejl att hon, i varje projekt som hon är delaktig i, tar hänsyn och anpassar ljussättningen till både människans behov och djurlivet på platsen. Hon tar ofta hjälp av lokala ekologer som kan ge expertkunskaper kring det lokala djurlivet, vilket är viktigt eftersom varje plats har en egen uppsättning djur, som påverkas olika av ljuset. Helst tar hon en promenad med en ekolog genom projektområdet för att gå igenom vilka delar som är viktigast att mörkret bevaras i och vilka delar som är mindre känsliga, då hon också värnar om att behålla mörka korridorer i möjligaste mån. Även Jägerbrand (2018) tar upp vikten av att i större skala arbeta med ljusets ekologiska påverkan och att ha god kunskap om det lokala djurlivet och vilka värden som finns på platsen för att skapa hållbara miljöer.

Både Uppsala kommun (2022) och Stockholm stad (2023) tar upp den ekologiska faktorn. "Den för miljö och djurliv mest skonsamma belysningslösningen är den som inte utförs." (Uppsala kommun 2022:10). Större områden som förblir obelysta, som då gynnar djurlivet bör finnas, men ibland kan trygghetsfaktorn skapa svårigheter att bibehålla sådana och i stadsmiljö prioriteras alltid trygghet (ibid.). Även Stockholm stad (2023:7) menar att "Stadens belysning är i första hand till för människors säkerhet och trygghet.", men att belysningen, där det är möjligt, kan planeras med djurlivets behov i åtanke.

Ett exempel där den ekologiska påverkan varit styrande är Vindbrovägen i Uppsala (se figur 10). Det är ett projekt med röd belysning längs en väg med stor andel gång- och cykeltrafik. Sträckan var länge obelyst och klagomål om att det inte var säkert och att krockar med andra trafikanter förekom. Vägen ligger intill ett naturreservat vilket komplicerade ljussättningen, men efter flera års

diskussioner, dispensansökan och artinventering installerades 2023 röd belysning, med fladdermössens mående i fokus (Mälson 2023).



Figur 10. Den röda belysningen längst Vindbrovägen, Uppsala. Foto: Anja Schröder

5. Diskussion

Syftet med den här studien var att få en uppfattning om hur ett urval av Sveriges vanligaste nattaktiva arter påverkas av ljusets våglängd och vilka beteenden som förändras på grund av ljusföroreningar. Avsikten var även att utreda hur ljus används i dagens samhälle och vilka förändringar på ljusets färgspektrum som går att tillämpa i den urbana miljön för att minska ljusföroreningar. I nedanstående kapitel kommer en sammanställning redovisas av vilka frekvenser som har störst påverkan och vilka påverkade beteenden som var mest framträdande i det valda materialet. Därefter diskuteras ljusanvändning i dagens samhälle i relation till vilka förändringar som är möjliga i framtiden. Även en metoddiskussion och förslag på vidare studier inom ämnesområdet kommer att redogöras.

5.1 Frekvenser med störst påverkan

Resultatet visar att kortare våglängder, främst blått ljus, har störst påverkan på alla de behandlade arternas biologiska processer och beteendemönster, vilket majoriteten av källorna verkar vara överens om. Det blå ljuset sprids mest i atmosfären (Rayleigh-spridning) och eftersom allt liv på jorden är anpassat efter solens ljus, upplevs även det artificiellt blå ljuset som dagsljus. Både Jägerbrand (2018) och Eklöf (2020) tar upp vikten av att det därför är detta ljus som i störst utsträckning bör begränsas för att minska de ekologiska påfrestningar som ljusföroreningar skapar. Genom att begränsa de kortare våglängderna skapas bättre förutsättningar för djurlivet, men även människans biologiska processer och mående skulle gynnas av en sådan förändring.

I andra änden av skalan har rött ljus, alltså längre våglängder, minst påverkan och uppfattas endast av fåtal nattaktiva arter som behandlas i denna studie. Den enda vetenskapliga artikeln som tar upp att någon av arternas beteenden påverkas av längre våglängder är Voight et al. (2018), som tar upp att enstaka migrerande fladdermusarter har positiv fototaxi till dessa. I flera av källorna nämns påverkan av rött ljus, men det handlar främst om arter med andra ekologiska nischer. I rapporten av Jägerbrand (2018) behandlas exempelvis ett antal dagaktiva arter, samt flera andra grupper, såsom reptiler, groddjur och fiskar.

5.2 Beteenden som påverkas mest

De beteenden som påverkas har i studien visats vara varierande, främst mellan de olika grupperna, men också delvis mellan arter. Hos flera av däggdjuren verkar

negativ fototaxi och bländning från tillfälligt starkt ljus vara de främsta konsekvenserna av ljusföroreningar. Hos nattaktiva fåglar påverkas födosök, då exempelvis deras bytens beteendemönster ändras när ljusförhållandena förändras. Nattskärrans bon kan även lättare upptäckas av andra rovdjur och då påverka artens framtida överlevnad. ALAN har också en tydlig koppling till desorientering i samband med migration för en mängd fågelarter (Zhao et al. 2020), men troligtvis inte de som behandlas i denna studie.

Flera av arterna uppvisar också positiv fototaxi, exempelvis snabbflygande fladdermusarter och insekter. Insekternas tendens att fastna vid ljuskällorna drar till sig rovdjur som utnyttjar detta beteende. Det kan ses som att rovdjuren gynnas av detta, men det är viktigt att betona att något som beskrivs som positivt för en art inte alltid är gynnsamt för ekosystemet som helhet. Små förändringar kan ha stor påverkan på ett ekosystem, vilka är svåra att förutsäga. Det är därför viktigt att bevara arterna och dess komplexa samband för att inte rubba jämvikten som råder. Ju högre genetisk variation som finns i ekosystemet, desto stabilare är det för skador och förändringar. Dammsugningseffekten är ett exempel som hotar insekternas överlevnad och kan då också ha förödande effekter på flera andra arter (Zeale et al 2018; Owens & Lewis 2018; Eklöf 2020).

5.3 Tillämpning av ljusets färg i stadsmiljö

5.3.1 I dagens samhälle

Lind (2021); Uppsala kommun (2022); Stockholms stad (2023); Gidlund (2024) menar att trygghet och säkerhet är i fokus vid ljussättning i stadsmiljö. De menar att den upplevda tryggheten är en av de viktigaste aspekterna att ha i åtanke vid val av ljusfrekvens. Det vita ljuset som oftast används bidrar mest till den upplevda trygghetskänslan, vilket är anledningen till att majoriteten av ljuskällorna i stadsmiljö har denna färg. Det röda ljuset upplevs ofta som mindre tryggt, vilket skulle skapa miljöer som människan är mindre bekväm att befinna sig i om det tillämpas i större utsträckning. Aktivitet under den mörkare delen av dygnet skulle då minska, vilket i sin tur också exempelvis påverkat olika verksamheter i staden.

Vidare menar ovanstående källor att det också finns ett starkt samband mellan trafiksäkerhet och belysning, där ändringar i gatubelysningens färgspektrum kan visa sig svårt. Detta är en prioriterad faktor i samhället och eftersom vitt ljus har bäst synbarhet används det därför i sammanhang där säkerhet är prioriterat, vilket innefattar stora delar av den urbana miljön.

Även om det röda ljuset har minst ekologisk påverkan på nattaktiva arter är det alltså svårt att implementera dessa frekvenser i stadsmiljö. Det används i dagsläget som en indikation för fara eller som en varning. Exempelvis används rött ljus i trafikljus eller bromsljus på fordon för att varna att farten minskar eller stoppar. Varningsskyltar innehåller också rött för att uppmärksamma trafikanter för fara eller ändring av gällande regler. I trafiksammanhang används ofta även reflexer hos gång- och cykeltrafikanter för att synas bättre, vars effektivitet minskar i rött ljus och då försämrar säkerheten i trafiken (se figur 11). Detta stämmer överens med att vitt ljus, som inkluderar kortare våglängder, sprids mer än längre våglängder.

I stadsmiljö är människans välmående viktigast och i miljölagstiftningen ligger stort fokus exempelvis på att bevara skyddade områden och känsliga arter, vilket främst innefattar miljöer utanför det urbana samhället, såsom Natura 2000-områden. Utifrån lagstiftningen är det lättare att göra anpassningar för djurlivet i områden utanför staden.

Det tidigare nämnda exemplet Vindbrovägen i Uppsala, där röd belysning satts upp intill ett naturskyddat område, har införts på grund av lagstiftningen som skyddar fladdermössens habitat. Detta exempel är dock ett område som ligger utanför stadskärnan och lösningen var därför möjlig. Det är trafiksäkerhet för människan som ligger till grund för att belysning har satts upp, men begränsningarna i färgspektrumet har varit gränssättande utifrån Art- och habitatdirektivet. Valet låg mellan rött ljus och mörker, då vit färg på ljuset hade varit olagligt i detta område.

5.3.2 Framtida möjligheter

Den optimala färgen på ljus för de nattaktiva djuren kanske inte är möjlig att använda i urbana miljöer, men det kan finnas alternativ som kan bidra till mindre påfrestningar, jämfört med det vanligt förekommande vita ljuset. Gidlund (2024); Stockholms stad (2023), samt Lind (2026) i mejlkontakt beskriver att varmvitt ljus bör användas framför kallvitt ljus, för den minskade påfrestningen på djurlivet och människans trivsel. Dick (2018) menar dock om bärnstensfärgat ljus



Figur 11. Exempel på reflex i vitt, respektive rött ljus, på olika avstånd. Visar att det röda ljuset reflekteras effektivt på nära håll, men försämras snabbare än vitt ljus på långt avstånd. Foto: Anja Schröder

hade tillämpats i större utsträckning hade den ekologiska påverkan minskat ännu mer, på grund av dess minimala fördelning av korta våglängder som fortfarande är närvarande i varmvitt ljus. Detta utan att påverka trygghets- och säkerhetsaspekten i samma mån som om rött ljus använts.

Det kan alltså vara värt att överväga att ändra ljusets färgspektrum för att skapa stadsmiljöer som är mer anpassade efter både människans mående och djurens överlevnad. Bärnstensfärgat ljus kan vara en överkomlig lösning som fortfarande fungerar för människans livsstil och kan möta djurens behov i större utsträckning. I samband med utbredningen och utvecklingen av LED-belysning menar Jägerbrand (2018) att det också finns nya möjligheter att lättare anpassa ljusets färg utifrån dess ekologiska påverkan.

I urbana miljöer planeras ofta gröna korridorer in i stadsmiljön för att inte fragmentera djurens livsmiljöer. Dessa har i många fall flera funktioner och planeras även användas som parkmiljö för människan och ljussätts därför i trygghets syfte. Detta leder i sin tur till att ljusskygga arter inte kommer använda dem i den utsträckning som initialt var tanken. Både Jägerbrand (2018) och Zeale et al. (2018) tar upp vikten av att därför inte endast planera för att skapa gröna korridorer, utan även att låta dessa vara mörka, för att gynna den biologiska mångfalden ytterligare. Eftersom det finns arter som påverkas av alla de olika frekvenser som människan använder sig av blir mörkret en väsentlig, och för vissa arter livsnödvändig, aspekt att ha i åtanke inom stadsplaneringen. Ljuset som anses nödvändig för människan kan möjligen anpassas, men det går inte att helt försumma vikten av att ha mörkret kvar.

Något som inte behandlas nämnvärt i det insamlade källmaterialet är möjligheten att göra plats för fler mörka områden i staden, utan att riskera en otryggare miljö. Som nämns i föregående stycke finns forskning som menar att mörkret är en viktig aspekt att implementera, men hur det ska gå till tas inte upp i detalj. Finns det möjlighet att skapa grönytor och parker som inte behöver belysas nattetid, där människan istället får röra sig förbi, istället för igenom? Om området främst används för genomfart kan upplysta gator och trottoarer intill möjligen vara tillräckliga. Min uppfattning är att stadens invånare i många miljöfrågor har förståelse för att anpassningar görs med syfte att gynna den biologiska mångfalden och djurlivet i stadsnära miljöer. Om ansvariga exempelvis går ut med information om varför ett beslut fattats, möts dessa i många fall av förståelse.

Som tidigare nämnts skyddas främst känsliga områden och arter i lagstiftningen. Det borde dock inte utesluta åtgärder i andra områden. Oavsett om en art är skyddad eller inte påverkas artsammansättningen, där bortfall av en enskild art

kan rubba hela ekosystemet. I studien har exempelvis arter påvisat negativ fototaxi, där ALAN skapar fragmenterade livsmiljöer som leder till minskad genetisk variation, vilket i sin tur leder till populationer som är känsligare för förändringar.

5.4 Metoddiskussion

Forskning inom området verkar väldigt ojämn, där vissa arter prioriteras framför andra. Det finns betydligt fler vetenskapliga artiklar som exempelvis behandlar sambandet mellan ljusföroreningar och fladdermöss eller fåglar än om igelkottar, grävlingar och rävar. Det gör att ett tydligare resultat troligtvis hade kunnat tagits fram om forskningen varit mer omfattande och jämnare fördelad.

Den tidigare forskning, som ligger till grund för den här studien, har även utförts med olika metoder och har haft varierande syften, vilket möjligen påverkat resultaten om dessa istället utförts likmässigt. Det hade även underlättat arbetet med att jämföra de olika grupperna.

För att få ett mer omfattande resultat och ett bredare perspektiv hade fler kommuners riktlinjer för ljussättning kunnat analyseras, samt fler ljusdesigners kontaktas och fler artiklar behandlats. Det hade kunnat ge ett mer omfattande underlag, som innehållit fler olikheter mellan aktörer.

Det är viktigt att notera att studien endast behandlar ett urval av nattaktiva arter och deras ljusspektrum skiljer sig från andra, exempelvis dagaktiva arter som har ett helt annat ljusspektrum. Det gör att de resultat och lösningar som framgår i den här studien inte tar hänsyn till dessa aspekter, vilket man i praktiken bör göra. Ämnet är även avgränsat till färgen på ljuset, men det finns en mängd andra lösningar som kan tillämpas, som också bidrar till minskade ljusföroreningar, exempelvis tidsbegränsad belysning, dess riktning eller ljusstyrka.

5.5 Vidare studier

Inom ämnesområdet hade det i vidare studier varit intressant att göra en liknande litteraturstudie med fokus på ljusets riktning, intensitet eller begränsat tidsintervall, istället för ljusets färg.

Det hade även varit givande att studera när på året det är viktigast att minimera ljusets användning. I Sverige migrerar eller vilar många arter under vinterhalvåret, när människan behöver mest ljus (Jägerbrand 2018). Exempelvis för fåglar hade

det därför troligtvis varit viktigast att ALAN längst deras migrationsrutter begränsas vid specifika perioder.

Den här studien har främst fokuserat på allmän mark, eftersom fokus har legat på stadsmiljö. Vidare forskning som utreder hur det går att ändra förutsättningar för minskade ljusföroreningar på privat mark hade därför varit intressant.

Ett annat exempel hade varit att utföra en fallstudie som utforskar hur trygghetskänslan och säkerhetsaspekten ändras i rött, bärnstensfärgat och vitt ljus, samt hur de går att tillämpa och i vilka situationer och miljöer de passar.

Referenser

- Adams, C.A., St. Clair, C.C., Knight, E.C. & Bayne, E.M. (2026). Artificial light alters spatial and temporal habitat use by a crepuscular aerial insectivore. *Ibis (London, England)*, 168 (1), 308–328. <https://doi.org/10.1111/ibi.13425>
- Barrow, J.D. (2011). *The artful universe expanded*. 2nd ed. Oxford University Press. <https://archive.org/details/the-artful-universe-john-barrow/page/208/mode/1up>
- Berger, A., Lozano, B., Barthel, L.M.F. & Schubert, N. (2020). Moving in the Dark—Evidence for an Influence of Artificial Light at Night on the Movement Behaviour of European Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Animals (Basel)*, 10 (8), 1306. <https://doi.org/10.3390/ani10081306>
- Creemers, J., Eens, M., Ulenaers, E., Lathouwers, M. & Evens, R. (2025). Skyglow facilitates prey detection in a crepuscular insectivore: Distant light sources create bright skies. *Environmental pollution (1987)*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125821>
- Dick, R (2018). Guidelines for Outdoor Lighting (Low-Impact Lighting) for RASC Dark-Sky Protection Programs. https://darksky.org/app/uploads/bsk-pdf-manager/RASC-GOL_2018_51.pdf
- Douglas, R.H. & Jeffery, G. (2014). The spectral transmission of ocular media suggests ultraviolet sensitivity is widespread among mammals. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 281 (1780), 20132995. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2995>
- Eklöf, J. (2020). *Mörkermanifestet : om artificiellt ljus och hotet mot en ursprunglig rytm*. Natur & Kultur.
- Gaston, K.J., Bennie, J., Davies, T.W. & Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 88 (4), 912–927. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111%2Fbrv.12036>
- Gidlund, H. (2024). Vägbelysningshandbok 2024. *Trafikverkets publikationer*; 2024:175. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1920886/FULLTEXT01.pdf>
- Gutierrez, E. de A., Schott, R.K., Preston, M.W., Loureiro, L.O., Lim, B.K. & Chang, B.S.W. (2018). The role of ecological factors in shaping bat cone opsin evolution. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 285 (1876), 20172835–20172835. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2835>
- Hufnagel, L. (2022). *Light Pollution, Urbanization and Ecology*. IntechOpen. https://mts.intechopen.com/storage/books/9653/authors_book/authors_book.pdf
- Hurley, S (2025). *Measuring and Mapping Light Pollution*. <https://explaining-science.org/2020/03/18/measuring-and-mapping-light-pollution/>
[Hämtad: 2026-02-23]
- Höglund, J., Mitkus, M., Olsson, P., Lind, O., Drews, A., Bloch, N.I., Kelber, A. & Strandh, M. (2019). Owls lack UV-sensitive cone opsin and red oil droplets, but

- see UV light at night: Retinal transcriptomes and ocular media transmittance. *Vision research (Oxford)*, 158, 109–119.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.02.005>
- Jägerbrand, A.K. (2018). *LED-belysningens effekter på djur och natur med rekommendationer: Fokus på nordiska förhållanden och känsliga arter och grupper*. Calluna AB. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1748063/FULLTEXT01.pdf>
- Kyba, C.C.M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C.D., Gaston, K.J. & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science advances*, 3 (11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Lind, M (2021). *Ljussätt staden: En handbok om ljusdesign i offentlig miljö*. AB Svensk Byggtjänst.
- Malkemper, E.P. & Peichl, L. (2018). Retinal photoreceptor and ganglion cell types and topographies in the red fox (*Vulpes vulpes*) and Arctic fox (*Vulpes lagopus*). *Journal of comparative neurology (1911)*, 526 (13), 2078–2098.
<https://doi.org/10.1002/cne.24493>
- Mersmann, K (2018). *Why NASA Watches Airglow, the Colors of the (Upper Atmospheric) Wind*. <https://www.nasa.gov/solar-system/why-nasa-watches-airglow-the-colors-of-the-upper-atmospheric-wind/> [Hämtad 2026-02-15].
- Mälson (2023). *Det lyser rött på Vindbrovägen*. <https://internt.slu.se/nyheter-originalen/2023/3/belysning-vindbrovagen/> [Hämtad: 2026-02-24]
- National Geographic (u.å.). *Hedgehog*.
<https://www.nationalgeographic.com/animals/mammals/facts/hedgehog> [Hämtad: 2026-02-23]
- Naturvårdsverket (2024). *Natura 2000-områden*.
<https://www.naturvardsverket.se/annesomraden/skyddad-natur/olika-former-av-naturskydd/natura-2000-omraden/> [Hämtad: 2026-03-09]
- Owens, A.C.S. & Lewis, S.M. (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and evolution*, 8 (22), 11337–11358.
<https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Scottish Badgers (u.å.) *Badger Biology & Ecology*.
<https://www.scottishbadgers.org.uk/information-hub/badger-ecology/> [Hämtad: 2026-02-23]
- SFS 1998:808. Miljöbalken.
- SFS 2007:845. Artskyddsförordningen.
- Skoglow, M (2020). Gasljus lyste upp Sveriges gator. *Släkthistoria*, 21 augusti.
<https://slakthistoria.se/livet-forr/gasljus-lyste-upp-sveriges-gator> [Hämtad: 2026-02-23]
- SKYbrary (u.å.) *Zodiacal light*. <https://skybrary.aero/articles/zodiacal-light> [Hämtad: 2026-02-23]

- Sliney, D.H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye (London)*, 30 (2), 222–229. <https://doi.org/10.1038/eye.2015.252>
- SLU Artdatabanken (2026). *Artfakta: trollpipistrell (Pipistrellus nathusii)*. <https://artfakta.se/taxa/100111> [2026-02-17]
- Sordello, R., Ouédraogo, D.-Y., Chassoulier, C., Aulagnier, S., Coulon, A. & Reyjol, Y. (2025). Does artificial light interfere with the activity of nocturnal mammals? An experimental study using road underpasses. *Biological conservation*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110960>
- Spoelstra, K., van Grunsven, R.H.A., Ramakers, J.J.C., Ferguson, K.B., Raap, T., Donners, M., Veenendaal, E.M. & Visser, M.E. (2017). Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 284 (1855), 20170075–20170075. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>
- Sterner, T (2024). Fler än någonsin besökte Allt ljus på Uppsala. *Uppsala Nya Tidning*, 12 december. <https://www.unt.se/kultur/uppsala/artikel/rekordsiffrsa-manga-besokte-allt-ljus-pa-uppsala/r0qp3qpi> [Hämtad: 2026-02-23]
- Stockholm stad (2023). *Ljus i Stockholm: Riktlinjer*. Stockholm Stad. <https://tillstand.stockholm/globalassets/foretag-och-organisationer/tillstand-och-regler/tillstand-regler-och-tillsyn/mark--och-gatuarbeten/handbocker-och-riktlinjer-vid-byggnation-i-stockholm/ljus-i-stockholm-2023.pdf>
- Trafikverket (2026). *Belysning*. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vagutrustning/belysning/> [Hämtad: 2026-02-23]
- Uppsala kommun (2022). *Riktlinje för belysning*. (Diarienummer: PBN-2021-00040). Uppsala Kommun. <https://www.uppsala.se/contentassets/25081955e025465bbb9b26462fbce3b5/riktlinje-for-belysning-i-uppsala-kommun.pdf>
- Urone, P.P & Roger Hinrichs, R. (2012). *College Physics*. OpenStax. <https://openstax.org/books/college-physics/pages/24-3-the-electromagnetic-spectrum>
- Voigt, C.C., Rehnig, K., Lindecke, O. & Pētersons, G. (2018). Migratory bats are attracted by red light but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. *Ecology and evolution*, 8 (18), 9353–9361. <https://doi.org/10.1002/ece3.4400>
- Voigt, C.C., Roeleke, M., Marggraf, L., Pētersons, G. & Voigt-Heucke, S.L. (2017). Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *PloS one*, 12 (5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177748>
- Zeale, M.R.K., Stone, E.L., Zeale, E., Browne, W.J., Harris, S. & Jones, G. (2018). Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats. *Global change biology*, 24 (12), 5909–5918. <https://doi.org/10.1111/gcb.14462>

Zhao, X., Zhang, M., Che, X. & Zou, F. (2020). Blue light attracts nocturnally migrating birds. *The Condor (Los Angeles, Calif.)*, 122 (2), 1–12.
<https://doi.org/10.1093/condor/duaa002>

Figurlista

- Figur 6. A proietti (2012). *Ecolocazione pipistrelli*. [Illustration]. CC BY-SA 3.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ecolocazione_pipistrelli.TIF [2026-02-24]
- Figur 3. Backstr (2011). *Why the sky is blue*. [Illustration]. CC BY 3.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Why_the_sky_is_blue.svg [2026-02-24]
- Figur 1. EEA (2021). *Natura 2000 Network*. [Kartografiskt material]. CC BY 4.0.
<https://natura2000.eea.europa.eu/> [2026-03-09]
- Figur 5. Lorenz, D (2024). *Light pollution map*. [Kartografiskt material].
<https://lightpollutionmap.app> [2026-03-03]
- Figur 2. Oliveira, D (2009). *Espectro Electromagnético*. [Illustration].
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_Electromagn%C3%A9tico.JPG
[2026-03-03]

Bilaga 1

Frågor ställda till Marianne Lind via mejl:

1. Tas frågor upp kring anpassningar för nattaktiva djur? I så fall används färgen på ljuset?
2. Hur påverkas dina uppdrag av frågor inom ämnet?

Har du något annat att tillägga som är relevant får du gärna göra det också!

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

JA, jag, Anja Schröder har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.