

# Funktion och effekt av blå viltreflektorer – en litteraturstudie och fältexperiment



## **Trafikverket**

Postadress: 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Funktion och effekt av blå viltreflektorer – en litteraturstudie och fältexperiment

Författare: Andreas Seiler, Sofia Willebrand och Louisan Verschuur

Dokumentdatum: 2017-12-12

Ärendenummer: TRV 2014/76171

Version: 1

Kontaktperson: Anders Sjölund

Publikationsnummer: 2017:230

ISBN 978-91-7725-212-2

# Innehåll

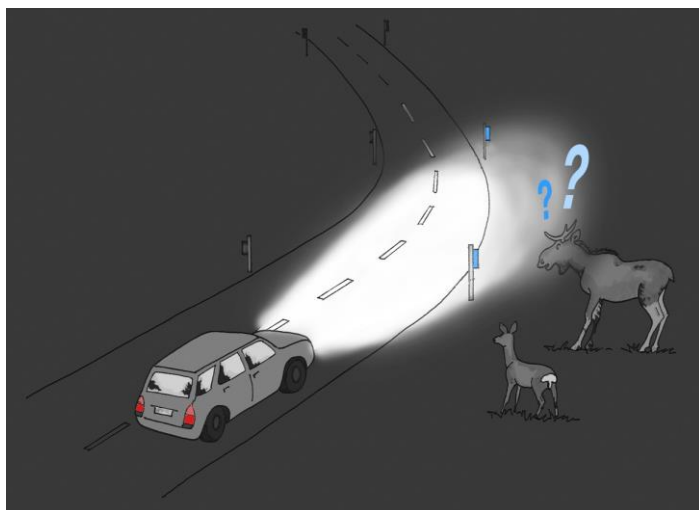
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>4</b>
<b>ENGLISH SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>1 SYFTE</b> .....	<b>6</b>
<b>2 INLEDNING</b> .....	<b>6</b>
<b>3 INTERNATIONELLT KUNSKAPSLÄGE</b> .....	<b>7</b>
3.1 Stöd för viltreflektors effekt.....	8
3.2 Kritiska studier .....	9
3.3 Grundläggande frågor .....	10
<b>4 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH HYPOTESER</b> .....	<b>11</b>
4.1 Djurens synförmåga och fysiologiska begränsningar .....	11
4.2 Viltreflektors tekniska funktion.....	13
4.3 Fordonsbelysning .....	14
4.4 Kantstolpar.....	15
4.5 Omgivningen, vegetation och ljusförhållanden .....	16
<b>5 FÄLTFÖRSÖK</b> .....	<b>17</b>
5.1 Reflektorer .....	17
<b>6 METODER</b> .....	<b>17</b>
6.1 Testplatserna .....	17
6.2 Bildbearbetning.....	19
6.3 Resultat .....	19
6.3.1 Test A: Effekt vid direkt belysning (stående bil) .....	19
6.3.2 Test A: Effekt vid passerande bil.....	20
6.3.3 Test B: Verkliga väg- och trafikförhållanden.....	20
6.3.4 Test C: Dokumentation i Tyskland .....	22
<b>7 SLUTSATSER OCH DISKUSSION</b> .....	<b>23</b>
<b>8 REKOMMENDATION</b> .....	<b>25</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>26</b>

# SAMMANFATTNING

Viltolyckor på väg är ett ökande problem inte bara i Sverige utan i många andra länder. Olika åtgärder används för att förebygga olyckorna, men endast få har visat sig effektiva. Under senare år har blåa viltreflektorer fått ökad uppmärksamhet tack vare entusiastiska rapporter i media som vittnar om kraftiga minskningar i olyckstal efter installation av reflektorer. Är blåa viltreflektorer möjligen en kostnadseffektiv åtgärd? Borde Trafikverket investera i uppföljningsstudier för att testa reflektorerna under svenska förhållanden?

Vi har granskat både vetenskapliga och massmediala rapporter och genomfört enkla fälttester för att kunna bedöma dessa frågor. Utifrån detta utvecklade vi en lista med argument som talar emot den påstådda effekten av viltreflektorer. Litteraturstudien tydliggjorde att de rapporterade minskningarna i olyckstal inte nödvändigtvis berodde på reflektorerna utan mycket väl kan ha återspeglat en naturlig variation i olyckstal eller orsakats av andra, icke kontrollerade faktorer. Många uppföljningsstudier var av låg kvalitet och inte vetenskapligt upplagda, involverade för korta tidsperioder eller för små provstorlekar och saknade kontrollsträckor. Mer omfattande och vetenskapligt trovärdiga studier har däremot, med få undantag, inte kunnat bekräfta någon olycksreducerande effekt av viltreflektorer eller ens någon effekt på djurens beteende. Tekniska studier på reflektorers funktion och ljusspridning visar dessutom att ljusflödet från reflektorerna är mycket begränsat och synligt endast inom ett litet område utanför vägen. Beteendestudier på djur visade dessutom en mycket liten respons på och snabb vänjning till de optiska signalerna från reflektorerna. Våra fälttester förtydligade att reflektorernas sken var förvånansvärt svagt och i det närmaste försumbart när strålkastarljuset lyste på kantstolpe och vägkylta. Under optimala förhållanden kan reflexen vara synlig som en svag ljuspunkt några sekunder innan strålkastarskenet blir synlig i omgivningen. Det förefaller dock osannolikt att denna tidiga, korta och svaga ljussignal kan påverka djurens beteende och orsaka en signifikant minskning i olyckstillbud. Däremot kan det vara möjligt att bilförarna visar ökat uppmärksamhet på grund av reflektorerna och kunskapen om att den utrustade sträckan har en hög olycksrisk.

Vi avråder därför Trafikverket att investera i nya uppföljningsstudier enligt ”bygg-och-lär” principen. Däremot rekommenderar vi att genomföra experimentella studier på både djurens och trafikantens beteenderespons på olika varningssignaler.



*Karikatur av den tänkta effekten av viltreflektorer på vilt. Teckning: Lars Jäderberg, Grimsö, SLU.*

## English summary

Wildlife-vehicle collisions are an increasing traffic issue not only in Sweden but also in many other countries. Various mitigation measures have been applied to prevent accident but only very few have proven to be effective. In recent years, blue wildlife reflectors have gained increased attention as news reports suggested significant reductions in accident numbers after installation of such reflectors. Are blue reflectors indeed cost-efficient measure against wildlife-vehicle accidents? Should the Swedish Transport Administration invest in follow-up studies to test the effect of reflectors on accidents under Swedish road and traffic conditions?

We studied scientific and public media reports and conducted simple field-tests to evaluate these questions. From this, we developed a list of arguments against the acclaimed effectivity of wildlife reflectors. Our literature review clearly suggested that the hitherto reported reductions in accident numbers could not solely be caused by reflectors, but more likely reflect the natural variation in accident number from year to year or relate to the combined effects of other, uncontrolled factors. Most follow-up studies presented in mass media were of low quality, involved only short time periods, a very limited sample size and lacked controls. Scientific more reliable studies, on the other hand, could rarely detect any effect of reflectors on accident frequencies nor on animal behaviour. Technical studies on the function and functionality of reflectors suggested that the intensity of the light reflex spread out into the surrounding was very small and its visibility very limited. Behavioural studies and experiments could not confirm any lasting effect of reflectors on animal behaviour. Our field tests confirmed that the visual signal produced by reflectors was low and almost negligible in comparison to the simultaneously illuminated (white) road post and road surface. Under optimal conditions, the reflexes were visible some seconds before the headlights of the approaching vehicle illuminated road post and road surface. It is however very unlikely, that this initial, short and rather weak light signal can produce any significant road avoidance in animals and reduce accident risks substantially. Rather, it appears more likely, that the blue glow from the reflectors alerts drivers and increases their awareness of the local risk for collisions with wildlife.

In conclusion, we discourage the Transport Administration to invest in further follow up studies on wildlife reflectors using accident numbers as measure of success. Instead, we recommend to conduct experimental studies on optical and acoustic warning devices focusing on behavioural responses in both animals and drivers.

# 1 Syfte

Projektets syfte är att bedöma hur blåa viltreflektorer fungerar tekniskt och om en provinstallation för fördjupade fältstudier kan rekommenderas. Bedömningen sker med hjälp av experiment av reflektorernas optiska effekt i kombination med en litteraturstudie och avvägning av pågående studier utomlands.



*Bild 1. Blåa viltreflektorer vid en landsväg i Tyskland. Foto Andreas Seiler*

## 2 Inledning

Viltolyckor på väg och järnväg är ett ökande problem i Sverige och även i många andra länder i Europa (Glista m.fl. 2009, Langbein m.fl. 2010, Hothorn m.fl. 2012, Steiner m.fl. 2014, Cramer m.fl. 2015, Niemi 2016). Kostnader som belastar det svenska samhället varje år till följd av viltolyckorna uppskattas till över 2 miljarder kronor för väg och ca 1-1,5 miljarder kronor för järnväg (Seiler & Olsson 2017). Dessa kostnader omfattar skador på människorna, på egendom (fordon) och djuren samt kostnader för bl a eftersök, arbetstidsförluster och förseningar i trafiken. Med ökande olyckstal ökar även behovet av effektiva åtgärder mot viltolyckor. Viltstängsel är den idag mest effektiva åtgärden (Huijser m.fl. 2009, Ree m.fl. 2015, Rytwinski m.fl. 2016a, Seiler & Olsson 2017), men är mycket dyr i investering och kan inte byggas i tillräcklig omfattning eftersom stängseln skapar nya barriärer för både djur och människor som i sin tur ökar behovet av passageåtgärder (Holderegger & Di Giulio 2010, Seiler m.fl. 2015, Wilson m.fl. 2015). Andra metoder, som siktröjning, utfodring, doftrepellerter, viltvisslor och även viltspelar har hittills inte visat

sig vara verksamma eller kostnadseffektiva (Almkvist m.fl. 1980, Lindquist & Lundström 1997, Seiler & Olsson 2017). Det efterfrågas därför nya alternativ som på ett tillförlitligt och prisvärt sätt kan öka säkerheten på väg och järnväg.

En gammal metod som under senare år åter blivit mycket populär i Europa är viltreflektorer (Bild 1). Reflektorerna monteras vanligtvis på utsidan av väggkantstolpar för att sprida ljuset från bilens strålkastare sidledes i terrängen. Hypotesen är att strålkastarljuset skapar en optisk ridå av ljusimpulser uti terrängen som varnar eller skrämmer viltet i tid så att djuren håller sig på avstånd och därmed undviker en kollision (D'Angelo 2007, D'Angelo & van der Ree 2015). Fördelarna med en sådan åtgärd är uppenbara: kostnaderna för investering och underhåll är låga och inga barriäreffekter uppstår i och med att djuren kan röra sig obehindrat över vägen när ingen trafik finns. Intresset från både allmänhet och myndigheter är och har varit stort och diverse tester och provinstallationer har genomförts under åren - dock med mycket olika resultat. Medan rapporter i massmedia och från enklare uppföljningar i regel är mycket positiva och hänvisar till stora förändringar i olyckstal efter uppsättning av reflektorer, lyckades man sällan upptäcka någon signifikant effekt i mer omfattande vetenskapliga studier (Brieger m.fl. 2016a).

Hur kan diskrepansen mellan den allmänna opinionen och det vetenskapliga bevisläget förklaras? Är det meningsfullt att investera i nya och bättre uppföljningsstudier på viltreflektorer? Hur trovärdiga är hypoteserna bakom reflektorernas funktion och verkningsgrad, kan man överhuvudtaget förvänta sig den påstådda effekten? I vår studie tittar vi specifikt på dessa frågor: vi genomförde en enkel fältstudie där reflexen från tre olika reflektortyper bedömdes och granskade internationell litteratur kring viltreflektorer, deras ljus tekniska verkningsgrad och rapporterad effekt på olycksstatistik. Från detta drar vi slutsatser för hur Trafikverket ska kunna förhålla sig till viltreflektorer.

### 3 Internationellt kunskapsläge

Idén med att varna djur eller skrämja dem från vägen när ett fordon närmar sig är inte ny. Första försöken med viltreflektorer eller viltspeglar ("Van de Ree mirrors", "Swareflex Wildlife Reflectors", "Strieter Lite WWR") genomfördes redan under 1960-70 talet i Nederländerna, Tyskland, USA och även i Sverige (Woodard m.fl. 1973, Ekblom 1979, Olbrich 1984, Schafer m.fl. 1984). De tidiga viltreflektorerna har ofta varit i en traditionell orange eller röd varningsfärg som dock klövdjur har svårt att se (Jacobs 1993). När djurens färgblindhet påpekades som ett av argumenten mot reflektorernas påstådda effekt svarade marknaden genom att lansera blåa, gröna eller vita reflektorer som lyser i ett färgspektrum som djuren har en högre känslighet för (Vercauteren & Pipas 2003). Numera finns det ett brett spektrum av viltreflektorer på marknaden i olika färger, material och utföranden som även kombinerar rörelser (t ex ITEK-reflektorer i Holland) och akustiska signaler (t ex i Österrike, <http://www.ipste.at>) se även litteraturöversikt i (D'Angelo & van der Ree 2015, Brieger m.fl. 2016).

### 3.1 Stöd för viltreflektorers effekt

I massmedia presenteras viltreflektorer i regel som ytterst effektiva. Rapporter från olika lokala försök vittnar om tydliga minskningar i olyckstal efter uppsättning av reflektorer. Till exempel rapporterade den tyska jakttidningen *Wild und Hund* att antalet viltolyckor avtog med mer än 57 % efter uppsättning av blå-vita reflektorer år 2009 (Schmitt 2013). I tidningen *Auto, Motor und Sport* (2014) berättade engagerade jägare hur antalet viltolyckor har minskat lokalt med 80 % efter att blåa viltreflektorer installerats. Tillverkarna av foliereflektorerna (Schilderwerk Beutha 2017) refererar till en (egen) enkätstudie där 411 jaktrevir i genomsnitt åstadkommit en reduktion med 73 % i antalet viltolyckor. Lika entusiastiska är rapporter i den österrikiska tidningen *Mein Bezirk* (2015a, b, 2017), där olyckstalen enligt uppgift minskade med upp till 90 % efter att viltreflektorer installerats i kombination med akustiska viltvarnare. Den Norska *Rikskringkasting* (NRK 2007) rapporterade en minskning med över 75 % av antalet viltkollisioner från omkring 5-11 stycken per vinter till totalt 3 stycken på 2 år efter uppsättning av reflektorer i Vestnes, Norge. I en flerårig tysk studie jämfördes statistik på jägarrapporterad fallvilt från 16 vägsträckor i norra Tyskland före (2007 – 2011) och efter (2011-2015) att blåa reflektorer installerats (Trothe m.fl. 2016). På de utvalda sträckorna konstaterades en nedgång i olyckstal med sammanlagt 63 %, medan olyckstalen på regional nivå (alla vägar) minskade med 7 % i genomsnitt. Dock varierade olyckstalen på teststräckorna delvis mycket från år till år, både före och efter uppsättningen av reflektorerna, vilket försvårade den statistiska utvärderingen. Dessutom hade andra faktorer som t ex art (rådjur vs dovhjort), tid på dygnet, årstid, trafikvolym och hastighet stor betydelse i jämförelserna. Författarna yttrar sig generellt positiva till viltreflektorers olycksreducerande effekt, men pekar på svårigheten att statistiskt säkerställa deras effektivitet med hjälp av liknande uppföljningsstudier på olycksfrekvenser.

Även ett antal vetenskapliga uppsatser från USA har kunnat påvisa signifikanta minskningar i olyckstal efter att viltreflektorer installerats (Schafer m.fl. 1984, Schafer & Penland 1985). Analyser av viltolycksstatistik från tre vägnivåer i Ohio under perioden 1977 – 1998 visade på en signifikant om än svag minskning i olyckstal efter uppsättning av *Swareflex* reflektorer år 1995 (Schwabe m.fl. 2000). Pafko & Kovach (1996) redovisade resultat från en uppföljning i Minnesota under 1988-1994 där viltreflektorer installerats längs vägar genom skogslandskap, jordbruksmark och nära tätorter. Olyckstalen på landsbygdsvägarna minskade med 79-90% i genomsnitt efter uppsättning av reflektorer. Däremot ökade olycksfrekvensen på tätortsnära vägar med 87 %. Resultaten är därmed inte entydiga.

Ett intressant experiment med viltreflektorer beskriver Riginos m.fl. (2015). I studien monterades röda viltreflektorer (Strieter-Lite ®) på mörka, icke-reflekterande trästolpar. Reflektorerna inaktiverades periodvis genom att täckas över med först vita och senare med svarta tygpåsar. Olyckstalen jämfördes sedan mellan perioder där reflektorer var aktiva och inaktiva. Författarna såg att olyckorna ökade med 33 % när reflektorerna inaktiverades med svarta tygpåsar, men minskade lika mycket när reflektorerna täcktes med vita påsar. Uppenbarligen skapade de vita påsarna en starkare signal än reflektorerna vilket minskade olycksrisken, men reflektorerna i sig var ändå bättre än svarta påsar på trästolparna, dvs än ingen signal alls. Författarna är ändå skeptiska och diskuterar om inte ljuset från reflektorerna och i synnerhet de vita påsarna påverkade förarbeteendet snarare än djurens uppmärksamhet (Zacks 1986, Schwabe m.fl. 2000).



## 3.2 Kritiska studier

Flertalet av de vetenskapliga studierna har å andra sidan inte kunnat bekräfta någon effekt av viltreflektorer – varken på olyckstal eller på djurens beteende (Müller & Berthoud 1995, Romin & Bissonette 1996, Putman 1997, D'Angelo m.fl. 2006, Huijser m.fl. 2009, Brieger m.fl. 2017). I en tidig svensk studie jämfördes olycksfrekvenser mellan två femårsperioder före (1958-62) och efter (1964-68) uppsättningen av viltspeglar av ”van de Ree” typ längs 26 km väg (Ekblom 1979). Mellan perioderna minskade det totala antalet olyckor på vägsträckorna med 54 %, men om reflektorerna varit effektiva så borde minskningen bland mörkerolyckorna varit större än för olyckorna dagtid. Studien kunde därmed inte konstatera någon signifikant effekt av reflektorer. Reeve & Anderson (1993) testade viltreflektorer (röda Swareflex) längs totalt 3,2 km långa vägsträckor i Wyoming under 3 års tid. I studien täcktes och frilades reflektorerna omväxlande i 1-2 veckors intervall och olyckstalen jämfördes. Författarna kunde inte fastställa någon signifikant skillnad mellan aktiva och inaktiva reflektorer (se dock Riginos m.fl. (2015)).

I en omfattande meta-analys av över 50 vetenskapligt publicerade studier på olika viltåtgärder fann Rytwinski m.fl. (2016) att viltreflektorer inte producerade någon signifikant förändring i olyckstal när man tog hänsyn till andra påverkansfaktorer. Författarna konstaterade att den olycksreducerande effekten av reflektorer som bäst ligger omkring 1 %, medan kombinationen av viltstängsel och viltpassager minskar olyckor med i genomsnitt 86 %. Brieger m fl (2016) genomförde en meta-analys av 31 publicerade studier på viltreflektorer där de tog särskilt hänsyn till längden av de individuella studierna. Det visade sig att en olycksreducerande effekt av viltreflektorer endast konstaterades när studierna var kortvariga. Studier som sträckte sig över längre tidsperioder kunde däremot sällan bekräfta någon effekt (Brieger m.fl. 2016). Studier som var positiva till reflektorernas effektivitet brukade dra slutsatser från enklare före-efter jämförelser, medan mer omfattande undersökningar som involverade kontrollsträckor eller experimentella upplägg enligt BACI-metoden (Before-After-Impact-Control; se även van der Grift m.fl. 2015) inte kunde bevisa någon effekt. Val av analysmetod har således stor betydelse för vilka resultat som kan förväntas (Brieger m.fl. 2016).

Att utvärdera förändringar i olyckstal som reaktion på åtgärder kräver fleråriga och relativt storskaligas studier. Det måste vara säkerställt att den förväntade skillnaden i olyckstal på grund av åtgärden är större än den förväntade eller kända naturliga variationen mellan åren och mellan vägsträckorna. Hur lång tid och hur lång vägsträcka som behövs för att statistiskt kunna upptäcka åtgärdseffekter kan uppskattas med hjälp av s k Power-analys. Förändringar i olyckstal som uppstår genom inverkan av yttre faktorer som t ex fluktuationer i populationstäthet, ändrad hastighet, trafikflöde, eller ren slump kan lätt maskera eller motverka åtgärdseffekten (Brieger m.fl. 2016). En kortvarig variation i olyckstal från ett år till ett annat kan därför lätt misstolkas som en effekt av den åtgärd man installerat. Ofta väljs teststräckor dessutom utifrån deras (initialt) höga olycksbelastning medan övriga vägar används som kontrollsträckor. När sedan en minskning i olyckstal registreras kan denna förändring inte utan vidare tolkas som en åtgärdseffekt utan kan ha uppstått genom den så kallade ”regression-to-mean” effekten (Wright m.fl. 1988, Putman 1997, Elvik m.fl. 2009). Denna effekt skapar en förhöjd sannolikhet för en slumpmässig minskning i olyckstal när olyckstalen nått ett maximum - även utan åtgärd. För att undvika risken för regressionseffekten borde man testa åtgärder längs vägsträckor med bara genomsnittlig olycksbelastning och använda många likartade sträckor som kontroller.

Med andra ord, att utvärdera effekten av viltåtgärder genom uppföljning av förändringar i olycksstatistiken är uppenbarligen svår och kräver omfattande långtidsstudier på tillräckligt långa sträckor. Utan ett genomtänkt vetenskapligt upplägg kan det vara svårt att undvika de vanliga fallgroparna i metod och analys (Underwood 1997, Morrison m.fl. 2008, Brieger m.fl. 2016).

Bättre lämpat är därför studier som fokuserar på omedelbara effekter i djurens beteende för att testa grundhypotesen att reflexerna varnar djuren. Studierna kan använda kontrollerade experiment och ge betydligt snabbare resultat, även om slutsatsen inte direkt översätts till åtgärdseffektivitet. I en nyligen publicerad undersökning (Brieger m.fl. 2017) studerades hur och om blåa viltreflektorer påverkar beteendet och rörelser hos rådjur. Författarna använde dels ett experimentellt upplägg med en simulerad vägmiljö i rådjurshägn och dels dokumenterade observationer längs verkliga vägar med och utan reflektorer. Undersökningarna kunde inte visa någon signifikant effekt av viltreflektorer på beteendet hos både hägnade och vilda djur. Däremot hade djurens närhet till vägen, djurens beteende före försöket och ljussituationen i allmänhet stor betydelse för djurens uppmärksamhet och benägenhet att undvika fordonen. Resultaten är tydliga och stöds av tidigare experiment med hägnade vitsvanshjort (Zacks 1985, 1986), och hägnade kängurur och vallabys (Ramp & Croft 2006). Vercauteren m.fl. (2003, 2006) testade att skrämma vitsvanshjort med röda och blå-gröna lasersignaler men kunde inte utlösa någon flyktrespons hos djuren. Ujvári m. fl. (1998) undersökte beteendet hos dovhjort efter experimentell installation av viltreflektorer i närhet till en utfodringsplats. Även om alla närvarande djur initialt reagerade på den nya ljusimpulsen från reflektorn, så vände de sig snabbt och ignorerade ljuset efter några försöksomgångar.

### 3.3 Grundläggande frågor

Innan man överväger att investera i en omfattande, mångårig och trots allt osäker uppföljningsstudie av viltreflektorers effekt på viltolycksstatistik, bör man granska de tekniska förutsättningarna, funktioner och hypoteser bakom den förväntade effekten. Följande frågor bör besvaras:

1. Emitterar reflektorerna en ljusimpuls som är tillräckligt stark för att kunna uppfattas av djuren och påverka deras beteende?
2. Är det rimligt att anta att reflektorer monterade på vägkantstolpar producerar en "ljusridå"?
3. Vilken extra information kan reflektorerna förmedla till djuren utöver den av strålkastarskenet upplysta kantstolpen, vägkantsvegetationen och vägytan?
4. Kan djuren förväntas visa någon beteenderespons på ljussignaler i vägmiljö?
5. Hur stor andel av olyckorna skulle teoretiskt kunna förhindras med tanke på att reflektorer enbart är verksamma i mörker?
6. Finns det alternativa hypoteser som skulle kunna bidra till att förklara den rapporterade olycksminskningen?

## 4 Förutsättningar och hypoteser

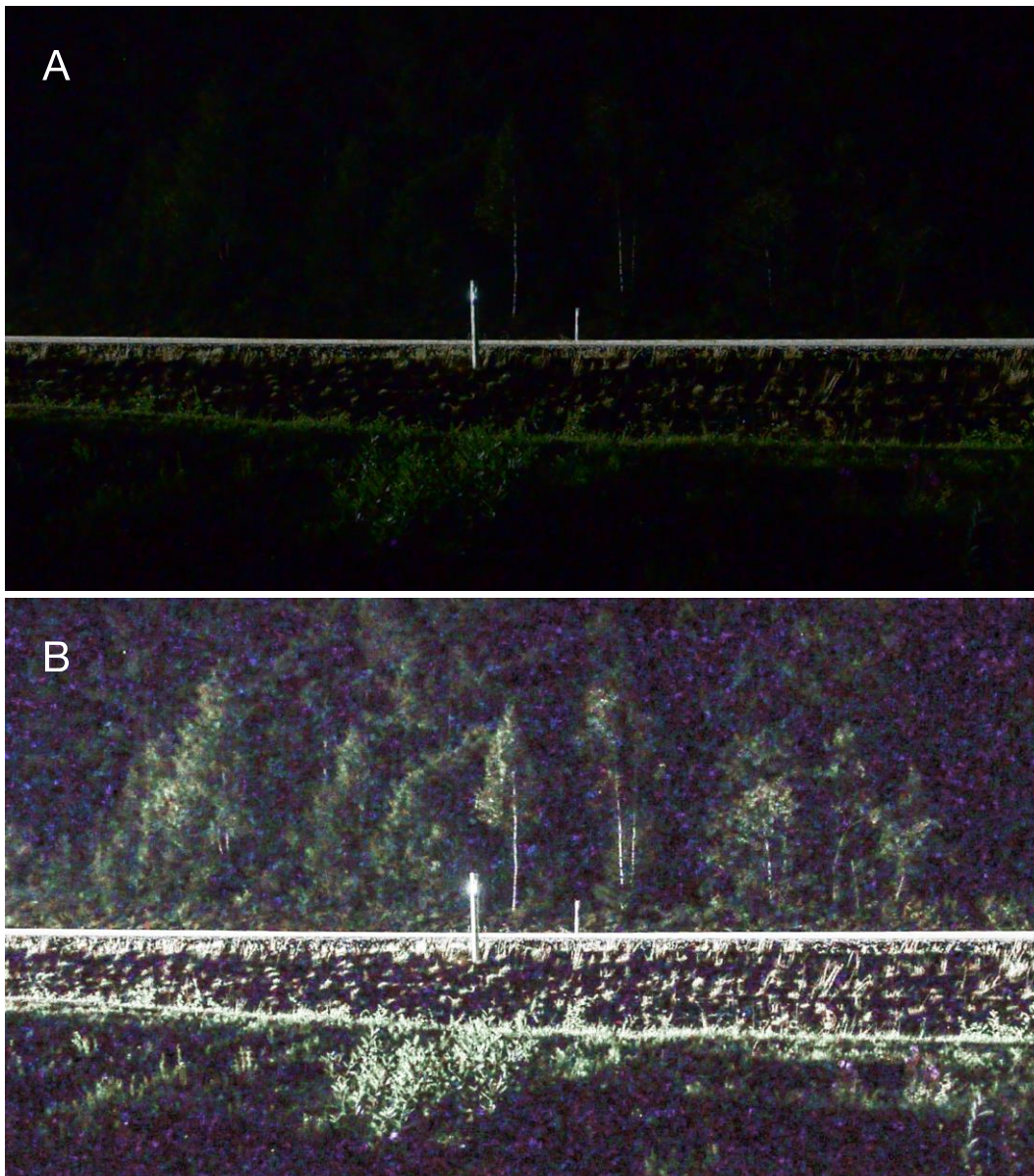
### 4.1 Djurens synförmåga och fysiologiska begränsningar

Grundläggande för bedömningen av den potentiella effekten av viltreflektorer är kunskap om djurens fysiologiska egenskaper och förmågor att se och upptäcka optiska signaler. Att enbart utgå från vår mänskliga synförmåga leder till felaktiga förväntningar och antaganden, något som visade sig tydligt i valet av de tidiga röda reflektorerna.

Djurens olika synförmågor är anpassade till deras artspecifika levnadssätt och behov. En viktig skillnad mellan människor och många vilda däggdjur, som klövvilt och en stor andel nattaktiva djur, är avsaknaden av receptorer i ögonen som reagerar på ljus med lång våglängd, dvs. i röda färgnyanser. Dessa arter har därför svårt att skilja mellan rött och grönt och uppfattar rött ljus som allmänt svagare än t ex grönt eller blått ljus (Jacobs 1993, Vercauteren & J. Pipas 2003, Jacobs 2009). Nattaktiva djur har ofta ett dikromatiskt seende, dvs de ser i huvudsak skillnader i ljusstyrka (svart-vit), kombinerat med en högre känslighet för kortvågigt, grönt-blått ljus. Många arter (dock ej vildsvin) har dessutom en reflekterande hinna bakom receptorerna i ögat (*Tapetum lucidum*) som speglar det inkommande ljuset tillbaka till receptorerna (Ollivier m.fl. 2004). Detta ökar synförmågan nattetid men gör samtidigt ögat känsligare för bländning från t ex strålkastare än det mänskliga ögat.

De flesta klövviltarterna är dessutom förhållandevis kortsynta och har en betydligt sämre synskärpa än människor (D'Angelo 2007). Deras bifokala seende är ofta begränsat till ett mycket smalt band till förmån av det monofokala seendet (med ett öga) som ger ett brett synfält kring djuret. Ögonens placering på huvudet, pupillens utformning (vågrät öppning) och fördelningen av ljusreceptorer (stavar för svart-vitt seende) på näthinnan medför att klövdjuret är mycket känsliga för rörelser i sidled och kan kontrollera ett bredare synfält (Peichl 1997). Detta är livsviktigt för bytes- och flyktdjur som behöver upptäcka ett rovdjur som närmar sig i tid. Det medför dock samtidigt att klövdjuret har svårare än vi människor och rovdjur med bifokalt seende att uppmärksamma och identifiera stillastående objekt. Ett fordon som närmar sig på en rak sträcka mot djuret eller en ljuspunkt som sitter orörlig i omgivningen kan därför vara svår att uppfatta.

Hur mycket klövdjuret förlitar sig på optiska signaler i sin omgivning är dock väldigt lite utforskat. Hörsel och luktsinne spelar troligen för de flesta i synnerhet nattaktiva arterna en större roll i orientering och omvärldskontroll än synen. Arter som rådjur eller vildsvin, som gärna födosöker i kantzoner med tätare vegetation eller i skogliga miljöer (Tufto m.fl. 1996, Thurfjell m.fl. 2009, Svenska Jägareförbundet 2016), borde därutöver inte ha samma anpassning för att upptäcka rovdjur redan på långt håll jämfört med kronhjort och dovhjort som nyttjar öppnare gräsmarker. Däremot borde de kunna vara känsligare för ljud och rörelser i sin närmaste omgivning. Det är tänkbart att rådjur och vildsvin därför uppmärksammar annalkande fordon först genom ljudet och senare genom strålkastarljuset.



*Bild 2. Exempel på ljusförhållanden på vägen och omgivningen några sekunder innan ett fordon med helljus passerar. A) illustrerar mänskligt seende, B) simulerar hur klövdjur skulle kunna ha uppfattat samma situation: gröna och blåa färgtoner lyser starkare medan röda svagare. Ljusintensiteten är högre för att återspegla djurens mörkerseende.*

Det är också troligt att djur som ofta uppehåller sig i närhet till trafikerade vägar har vant sig vid både ljud- och ljusstörningar från trafiken. Djuren kan vara "medvetna" om att det rör sig fordon längs vägarna även om ingen trafik pågår. Samtidigt är det möjligt att djuren inte uppfattar fordonen som någon allvarlig fara eftersom de alltid passerar förbi utan att jaga och förfölja djuren. Att en extra ljussignal från viltreflektorer då ska vara av betydelse för djurens uppmärksamhet och beteende verkar osannolikt. Mer troligt är att djuren snabbt vänjer sig vid ljusreflexerna, särskilt längs högtrafikerade vägar, där bilar passerar med korta intervall (Ujvári m.fl. 1998). Experimentella studier med både hägnade och frilevande djur har hittills inte kunnat uppvisa någon signifikant respons på viltreflektorer (se ovan) (Zacks 1985, 1986, Ramp & Croft 2006, Vercauteren m.fl. 2003, 2006, Brieger m.fl. 2017).

Om djuren däremot förstår sambandet mellan strålkastarskenet, fordonen och risken för en eventuell kollision, och kan dra nytta av ljussignalen för att undvika fordon, så borde även de traditionella vägkantstolparna ha effekt på viltolycksrisken. I så fall borde man kunna förvänta sig färre olyckor längs vägar med kantstolpar än längs liknande vägar utan stolpar. Hypotesen stöds av Riginos m.fl. (2015) och skulle kunna testas med hjälp av en geografisk jämförelse av olycksfrekvenser. Å andra sidan medför installationen av vägkantstolpar bättre sikt för trafikanter, vilket ofta besvaras genom höjd hastighet som i sin tur åter lyfter olycksrisken (Lundkvist m.fl. 2014, Trafikverket 2015). Om dessa två effekter tar ut varandra är oklart.

Sammanfattningsvis kan konstateras att klövdjur har ett dikromatiskt seende med något sämre synskärpa men högre ljuskänslighet än vi människor. Djuren är särskilt känsliga för ljus i det blå-gröna färgspektrumet, har lättare att uppfatta horisontella rörelser i sidled och ett bredare synfält, men svårare att urskilja stillastående objekt på längre avstånd. Doft och ljud spelar troligen en mycket stor roll för djurens allmänna varseblivning av sin omvärld och kompletterar de visuella intrycken på ett omfattande sätt. Förmågan att tolka abstrakt visuella (eller också akustiska) signaler är oklart, men habituering (tillvänjning) till ofarliga intryck (som t ex viltskrämmor eller reflexer) kan ske snabbt. Det behövs fler beteendestudier för att bättre förstå djurens biologiska och intellektuella förutsättningar att uppfatta varningssignaler.

## 4.2 Viltreflektorers tekniska funktion

Schulze & Polster (2017) publicerade nyligen en mycket omfattande teknisk undersökning av viltreflektorers tekniska egenskaper och funktion. I studien jämfördes 9 reflektortyper som för närvarande används i Tyskland, däribland de tre reflektorer vi testade i egna fältförsök (se sida 17). Reflektorerna varierade avsevärt i sin reflexionsbild, ljusstyrka och utformning, med sämst resultat för den vanligaste folierefektoren (*halbkreisreflektor*) där mikroreflexer uppstår i bara omkring 5 % av reflektorytan. Reflektorerna fördelar alltså bara en bråkdel av det ljus som träffar reflektorytan. Ljusflödet (lumen) som viltreflektorer har till förfogande och kan spridas ut i omgivningen motsvarar produkten av ljusstyrkan och rymdvinkeln i vilken ljusets utsänds. Ett vanligt stearinljus utstrålar ca 10 lumen. Ett fordon som körs med helljus och som befinner sig 300 m från reflektorn belyser den med max 1 lumen per kvadratmeter (se nedan). Ljusflödet som reflekteras påverkas dessutom av viltreflektorns storlek och form, som varierar mellan 33 och 125 cm<sup>2</sup> (för de tre reflektortyper som vi jämförde, se Bild 3). Beräkningarna visade att reflektorerna fördelar endast ca 0,1 lumen utanför vägen.

Ljuset som sedan kan uppfattas av djuren beror vidare på böjningen av reflektorytan och vinkeln mellan det infallande och reflekterade ljuset, dvs djurets position relativt till fordonet. Ju större reflektionsvinkel både horisontellt och vertikalt, desto mindre ljus syns. Schulze & Polster (2017) sammanfattar att ljusreflexen överlag kan vara synlig endast inom ett begränsat område och att det ljus som överhuvudtaget kan nå djuren utanför vägen är 30-100 gånger svagare än det som reflekteras tillbaka till fordonet. Detta förklarar varför man som bilförare tydligt uppfattar det blåa skenet från viltreflektorerna, medan det syns relativt lite utanför vägen.

Förändringen i ljusstyrkan på grund av att fordonet närmar sig en reflektor sker dessutom mycket långsamt; det börjar med ett svagt glimmande som långsamt blir starkare tills bilen är endast ett tiotal meter från stolpen och den hamnar utanför strålkastarens ljus. Reflektorerna skapar därmed inga plötsliga ljusimpulser utan i första hand en svag och statisk signal. När vägkanten, kantstolpen och omgivningen lyser upp i strålkastarskenet utgör reflexen på viltreflektorn enbart en förhållandevis liten punkt.

Slutsatsen från studien är att ingen av de nio reflektorerna kan förväntas att fungera med hänsyn till deras reflekterande förmåga och ljusflödet från strålkastarna (Schulze & Polster 2017). Liknande slutsats drar även Sivic & Sielecki (2001) i sin spektrometriska undersökning av viltreflektorer i Kanada. Ljusstyrkan är alltså inte tillräckligt stark för att man ska kunna förvänta sig en omedelbar och avvärande eller skrämmande effekt. Den påstådda effekten kan endast uppstå om djuren hade lärt sig tolka ljuset från reflektorerna som ett tidigt tecken på att fordon är på väg. Ovan beskrivna beteendestudier ger dock inget stöd för detta antagande (se 4.1.).

### 4.3 Fordonsbelysning

Fordon framförs med två olika belysningstyper: halv- och helljus. Halvljus används för att belysa vägen omedelbart framför fordonet (< 100 m) och för att bli sedd av andra trafikanter. Halvljusets sken är asymmetriskt begränsat på vänstra sidan för att inte blända andra trafikanter. Halvljusets sken gör icke reflekterande ytor (kantstolpe, personer, djur) synliga för föraren på ca 60 m avstånd, reflexer (på t ex kantstolpar, skyltar eller kläder) på ca 125 m avstånd (Tabell 1). Det innebär att ett fordon som framförs med halvljus i 90 km/h kan, under optimala förhållanden, skapa reflexer på viltreflektorer ca 2,5 sek innan strålkastarna lyser upp kantstolpen och sammanlagt omkring 5 sek innan bilen passerar.

Helljusets sken ger ett mycket större synfält. Det lyser upp vägen ca 300 m framför fordonet och syns i reflexer på 450 m avstånd (källa: Körtkortskolan<sup>1</sup>). Men helljuset får användas enbart när förarens synfält med hänsyn till fordonets hastighet inte är tillräckligt för att fordonet ska kunna köras säkert. Finns det risk för att andra fordonsförare bländas eller när vägen redan är tillräckligt belyst av dagsljus eller gatlyktor, är det förbjudet att använda helljus (Svenska Trafikförordningen 1998:1276<sup>2</sup>).

Ljusintensiteten avtar snabbt med avståndet. Medan belysningsstyrkan (illuminansen) vid helljus kan överstiga 10 lux = 10 lumen per m<sup>2</sup> framför bilen (< 85m), minskar den till 2 lux redan vid 200 m och till 1 lux vid 300 m avstånd (Schulze & Polster 2017). Under optimala förhållanden och längs en raksträcka på minst 450 m borde viltreflektorer alltså kunna verka i ca 18 sekunder (vid en framfart i 90 km/h), varav ungefär 6 sekunder innan vägytan och omgivningen blir synligt upplysta av helljuset (Tabell 1).

Det förefaller osannolikt att dessa 6 sekunder, resp. 2,5 sekunder (vid halvljus) kan vara tillräckliga för att skapa en effektiv signal som kan konkurrera med efterföljande starkare ljussignaler från vägyta och kantstolpe under en minst lika lång tid.

---

<sup>1</sup> <http://www.kortkortskolan.se/kortkortsteori/morkerkorning>

<sup>2</sup> <https://lagen.nu/1998:1276>

Tabell 1. Tid som föraren kan uppfatta reflekterande och icke reflekterande ytor (stolpe) i strålkastarljuset vid olika hastigheter. På en rak vägsträcka och vid 90 km/h framfart blir kantstolpar synliga (för föraren) ca 12 sek innan bilen nått fram. Tack vare djurens mörkerseende kan en längre räckvidd av ljusskenet förväntas och djuren skulle kunna uppfatta stolpen och vägytan tidigare.

Fordonets hastighet		max varseltid i sek vid helljus		max varseltid i sek vid halvljus	
km/h	m/sek	helljus lyser 300 m (stolpe)	helljus lyser 450 m (reflex)	halvljus lyser 60 m (stolpe)	halvljus lyser 125 m (reflex)
30	8,3	36,0	54,0	7,2	15,0
40	11,1	27,0	40,5	5,4	11,3
50	13,9	21,6	32,4	4,3	9,0
60	16,7	18,0	27,0	3,6	7,5
70	19,4	15,4	23,1	3,1	6,4
80	22,2	13,5	20,3	2,7	5,6
90	25,0	12,0	18,0	2,4	5,0
100	27,8	10,8	16,2	2,2	4,5
110	30,6	9,8	14,7	2,0	4,1
120	33,3	9,0	13,5	1,8	3,8

#### 4.4 Kantstolpar

Enligt VGU 2015 (Trafikverket 2015) ska kantstolpar användas på vägar som saknar vägbelysning, har en trafikvolym på  $\geq 2000$  fordon per medelårsdygn vid en skyltad hastighet på  $\geq 80$  km/h. Detta innefattar även de vägar där de flesta viltolyckor inträffar (Seiler 2004). Kantstolpar ska förbättra den visuella ledningen på vägen och höja trafiksäkerheten, men studier antyder att trafikanter kompenserar den förbättrade sikten genom att höja hastigheten vilket åter ökar risken för olyckor. Nettovinsten för trafiksäkerhet är därmed liten, men framkomligheten förbättras. Kantstolpar ska placeras ca 1,0 m utanför vägbanekant. Avståndet i längsled mellan kantstolpar på raksträcka och i konkav vertikalkurva är normalt 50 m och på motorväg 100 m (Vägverket 2004, Trafikverket 2015). Minst tre kantstolpar på samma sida ska vara synliga samtidigt. I kurvor med radie  $\leq 700$  m samt i konvexa vertikalkurvor med radie  $\leq 2500$  m ska avståndet i längsled mellan kantstolpar vara 25 m. Avståndet medför att en bil som framförs i 90 km/h längs en raksträcka skapar reflexer på kantstolpar med ca 2, resp. 4 sekunders fördröjning. Detta är troligen alldeles för lång tid för att producera en märkbar "ljusridå" för de djur som befinner sig i närhet till vägen.

En kantstolpe i mark ska vara av typen D2 enligt SS-EN12899-3 (Trafikverket 2015). Den ska vara vit och eftergivlig, med en höjd på 1,05 m räknat från beläggningsytans nivå. På den övre delen av kantstolpen, vid 0,8 m höjd, ska det finnas ett 0,25 m brett horisontellt svart band med centralt placerade reflektorer riktade mot körriktningen. Det är i regel på detta svarta band eller ovanför det som viltreflektorer monteras (se Bild 1). Reflektorerna sitter därmed på en höjd av mellan 0,8 och 1 m relativt till vägytan, men eftersom vägytan ofta ligger något över omgivande markyta, är reflektorernas vertikala läge högre relativt till djurens position i omgivningen. Djurens ögonhöjd varierar mellan arterna; medan älg har

en ögonhöjd på omkring 1,60, dovhjort eller kronhjort på 1,20 m, når rådjur sällan upp över 1m och vildsvin ligger under 0,8 m. Beroende på omgivande topografi, djupet i vägdiket och utformningen av slänterna är reflexionsvinkeln mellan reflektorn och djurens ögon ofta suboptimal. Om djuren dessutom fokuserar sin uppmärksamhet på marken (vildsvin) och marknära vegetation (rådjur), är chansen att djuren upptäcker ljusreflexerna högre upp över vägen förmodligen mycket liten.

Om kantstolpar inte står rakt utan lutar i sidled förändras reflexionsvinkeln ytterligare. Reflektorerna behöver, precis som vanliga reflexer på kantstolpar, årlig underhåll. Reflektorytan måste hållas fria från vägdamm och alger och ska inte skymmas av hög vegetation eller snö.

#### 4.5 Omgivningen, vegetation och ljusförhållanden

Vegetationen och topografin i vägens direkta omgivning påverkar i hög grad om och hur djur närmar sig vägen och därmed förmodligen också hur de kan uppfatta reflektorer på vägkantstolpar. Där vägen går genom skogsmark och vegetationen är relativt tät ända fram till vägdiket kan buskar och träd lätt skymma kantstolpar och därmed också reflexen från viltreflektorerna. Djuren borde befinna sig nära skogsbrynet och därmed bara kanske 10-20 m från vägbanan för att kunna uppfatta stolpar och reflektorer. Där stolpar placeras med 50 m till 100 m avstånd från varandra är förutsättningarna begränsade för att djuren ska kunna uppfatta flera viltreflektorer samtidigt.

Situationen i ett öppet landskap är bättre när djuren på långt avstånd kan se vägen och kantstolparna. Å andra sidan har djuren då samtidigt lättare att upptäcka rörelser och ljusskenet från annalkande fordon på längre håll, vilket tar ut den relativa fördelen med reflektorer. Viltreflektorer borde nå sin största funktionalitet i halvöppna, relativt flacka landskap, där vägytan ligger på ungefär samma höjd som den omgivande terrängen (liten vertikal reflexionsvinkel) och där vegetationen bara skymmer en del av vägen och annalkande fordon.

Viltreflektorer kan vara funktionella bara när det är tillräckligt mörkt och fordonen körs med helljus. Cirka en tredjedel av alla inrapporterade viltolyckor inträffar vid mörker, varav upp till hälften under skymnings- och gryningstimmen (Lavsund & Sandegren 1991, Neumann m.fl. 2012, Jägerbrand 2014). Andelen varierar mellan säsongerna och är störst under hösten och vintern. Antar man att reflexerna är bara delvis (50%) verksamma vid skymning/gryning, så skulle man kunna förvänta sig en maximal minskning i viltolyckstal på upp till kanske 55-60 %. Effekten borde vara större under vintermånaderna när dagarna är korta, men lägre under sommarhalvåret. Detta är hypoteser som kan testas mot olycksstatistiken (se Ekblom 1979). Hur snöförhållanden påverkar djurens möjligheter att upptäcka reflexerna mot bakgrund av den i strålkastarskenet reflekterande snön är dock oklart.



## 5 Fältförsök

Vi genomförde enkla fältförsök med tre olika typer av viltreflektorer under sommaren 2016 och 2017 vid Grimsö forskningsstation. Försöken gick ut på att dokumentera den visuella effekten av reflektorerna utifrån djurens perspektiv utanför vägområdet när ett fordon närmar sig och passerar.

### 5.1 Reflektorer

Vi testade tre olika typer av reflektorer (Bild 3):

- **Viltspiegel** – ”Wildwarnreflektor General” böjd spegelyta i vit och blått från Beilharz GmbH & Co. KG i Vöhringen, Tyskland. Reflekerande yta ca 125 cm<sup>2</sup>. Skapar en vit-ljusblå reflexpunkt.
- **Multivarnare** – ”Multiwarn Wildlife Protector” från Motzener Kunststoff- und Gummiverarbeitung GmbH, Tyskland, bestående av hårda reflektorer (av typ ”kattögon”) i vitt, grönt och blått kombinerad med böjd reflektorfolie. Reflektoryta (en sida) ca 33 cm<sup>2</sup>. Skapar flerfärgade reflexer på hela reflektorsidan.  
<http://en.wildwechsel-unfall-vermeiden.de/index.html>
- **Reflektorfolie** – ”Halbkreisreflektor” (halvkrets) med blå reflektorfolie från 3M, Schilderwerk Beutha GmbH, Chemnitz, Tyskland,  
<http://www.halbkreisreflektor.de/>. Reflektoryta (ca hälften av hela halvcirkeln) ca 75 cm<sup>2</sup>. Skapar ett svagt blått sken kring reflektorn. ”Hegereflektorn” från Ferotec har en närmast identisk reflektorfolie men dessutom en vinklad yta som ska hjälpa att sprida ljus nedtill till mindre djur eller djur i vägdiken.

Reflektorerna monterades enligt tillverkarnas anvisning och under beaktande av Trafikverkets riktlinjer (Trafikverket 2015) på vita vägkantstolpar med runt och rektangulärt tvärsnitt.

## 6 Metoder

### 6.1 Testplatserna

Test A avsåg en direkt jämförelse av de tre olika reflektortyperna. Studierna genomfördes längs en enskild väg i närheten av Grimsö forskningsstation, Riddarhyttan. Längs vägkanten placerades tre (runda) kantstolpar som utrustades med var sin reflektor. Kameran ställdes ca 15 m från vägkanten vänd rakt mot vägen och dess vertikala placering justerades så att den efterliknade djurens ögonhöjd (ca 1 m över marknivå). Höjdplaceringen var lite över vägnivån och därmed något lägre än reflektorernas läge på stolpen. Fordonstrafik simulerades med hjälp av två bilar med olika strålkastare: en VW Passat årsmodell 2016 med Xenonljus (starkt och blåvitt ljus) och Mercedes C180 årsmodell 2000 med traditionella 55W halogenlampor (mer gulaktigt och svagare ljus). Bilarna hade helljuset på och parkerades antingen på ca 100 m avstånd från stolparna eller kördes i 50 km/h från ca 300 m avstånd mot och förbi stolparna.

Test B gjordes längs en ca 1,2 km lång raksträcka av RV 68 genom halvöppet landskap vid Morskoga i närhet av Grimsö forskningsstation, Riddarhyttan. Platsen valdes för att få ett exempel på hur reflektorerna skulle kunna fungera i verkligheten. Kameran placerades på liknande sätt som i test A, med ett avstånd på omkring 15 m mittemot en rektangulär och en rund väkantstolpe på vilka reflektorerna hade monterats. Det var inte möjligt att få med två kantstolpar (från samma sida) samtidigt på bilden; för detta hade kameran behövt placeras betydligt längre ifrån vägen. Kameran startades när fordon på riksvägen började närma sig och innan strålkastarljuset blev synligt i reflektorn eller omgivningen.

Test C bestod av en enkel videodokumentation på liknande sätt som test B längs ett antal vägavsnitt i Tyskland. Detta test avsåg i första hand att verifiera intrycket från test B under andra väg och trafikförhållanden.



Bild 3. Tre reflekortyper som ingick i testet: A: multivarnare med "kattögon"; B: blå reflektorfolie på en halvcirkelyta; C: viltspiegel.

## 6.2 Bildbearbetning

Filminspelningarna gjordes med hjälp av en Nikon D7000 DSR kamera med objektiv Nikkor AF-S 18-105 DX, vid mörker och relativt torrt men molnigt väderläge. För att efterlikna hur klövdjur skulle kunna ha uppfattat ljus- och färgsituationen bearbetades filmerna i efterhand genom att höja ljusstyrka (exponeringen) och optimera kontrasten, och justera färgnyansen genom att förstärka ljusstyrkan för blå-gröna färger och minska för röda färgnyanser samtidigt som den totala färgmättnaden reduceras (Bild 2). Denna bearbetning användes enbart för att illustrera synintrycket och inte för att mäta faktiska ljusförhållanden i bilden.

## 6.3 Resultat

Trots de tekniska begränsningarna vid filminspelningar gav våra enkla fältobservationer tydliga resultat. De olika reflektortyperna skilde sig kraftigt i sina reflektoregenskaper. Starkast reflekterade multivarnaren med sina 4 raka reflexer. Viltspegeln producerade mindre men relativt kraftiga reflexer. Den blåa reflektorfolien gav ingen nämnvärd reflex ut i vägens omgivning, däremot uppfattades denna reflektor tydligast av bilföraren, vilket antyder att en stor del av det infallande ljuset från strålkastaren reflekteras tillbaka till bilföraren och inte sprids utanför vägen. När fordonen närmade sig ökade reflektorernas sken långsamt från ett svagt skimmer till ett starkare ljus, men det fanns ingen rörelse och inga plötsliga förändringar i skenet som skulle kunna uppfattas som ljusimpulser. Överlag uppfattades ljusreflexerna dock som oväntat svaga och små, och helt obetydliga i jämförelse med skenet från den samtidigt belysta kantstolpen och vägytan.

Under optimala förhållanden, när fordonen kördes med helljus längs en lång raksträcka, blev reflexerna synliga några sekunder innan strålkastarna lyste upp stolpe eller vägyta. Det är enbart detta initiala ljusskenet från reflektorn som möjligen skulle kunna ha en varnande effekt på djuren. Senare, när bilen kommit närmare, domineras ljusintrycket av skenet från den upplysta stolp- och vägytan, och reflexen från viltreflektorn är försumbar.

Bilder och filmmaterial från testerna finns tillgängliga på projektets webbsida: [www.vilt och trafik.se/viltreflektorer](http://www.vilt och trafik.se/viltreflektorer).

### 6.3.1 Test A: Effekt vid direkt belysning (stående bil)

När bilens strålkastare lyste direkt på stolpe och reflektor utgjorde reflexen från viltreflektorerna endast en mycket liten del av den totala ljusbilden. Stolparna i sig emitterar ljuset så pass kraftigt att reflektorerna ofta uppfattas som ett mörkt parti på stolpen. Reflexen påverkas delvis mycket av det relativa läget av reflektorn gentemot bilen. Genom att vrida på stolpe inklusive reflektor maximerade vi ljusreflexen, men även under optimala förhållanden var det den vita stolpytan som lyste starkast. Även gräsvegetationen i vägkanten och vägytan reflekterade delvis ljuset starkare än viltreflektorerna. Bild 4 illustrerar utfallet. I jämförelse med varandra gav multivarnaren (i mitten) starkast reflektion, svagast reflektion gav den blåa reflektorfolien (till höger). Viltspegeln producerar små men starka reflexer, men är samtidigt mycket känslig för hur ljuset träffar på spegeln.



*Bild 4. Exempel av resultat från Test A. Reflektorerna från vänster: Viltspiegel, Multivarnare, Halbkreisreflektor (blå folie). Bilden visar reflektorerna i en position som gav maximal effekt vid en position i rät vinkel mot väglinjen.*

### 6.3.2 Test A: Effekt vid passerande bil

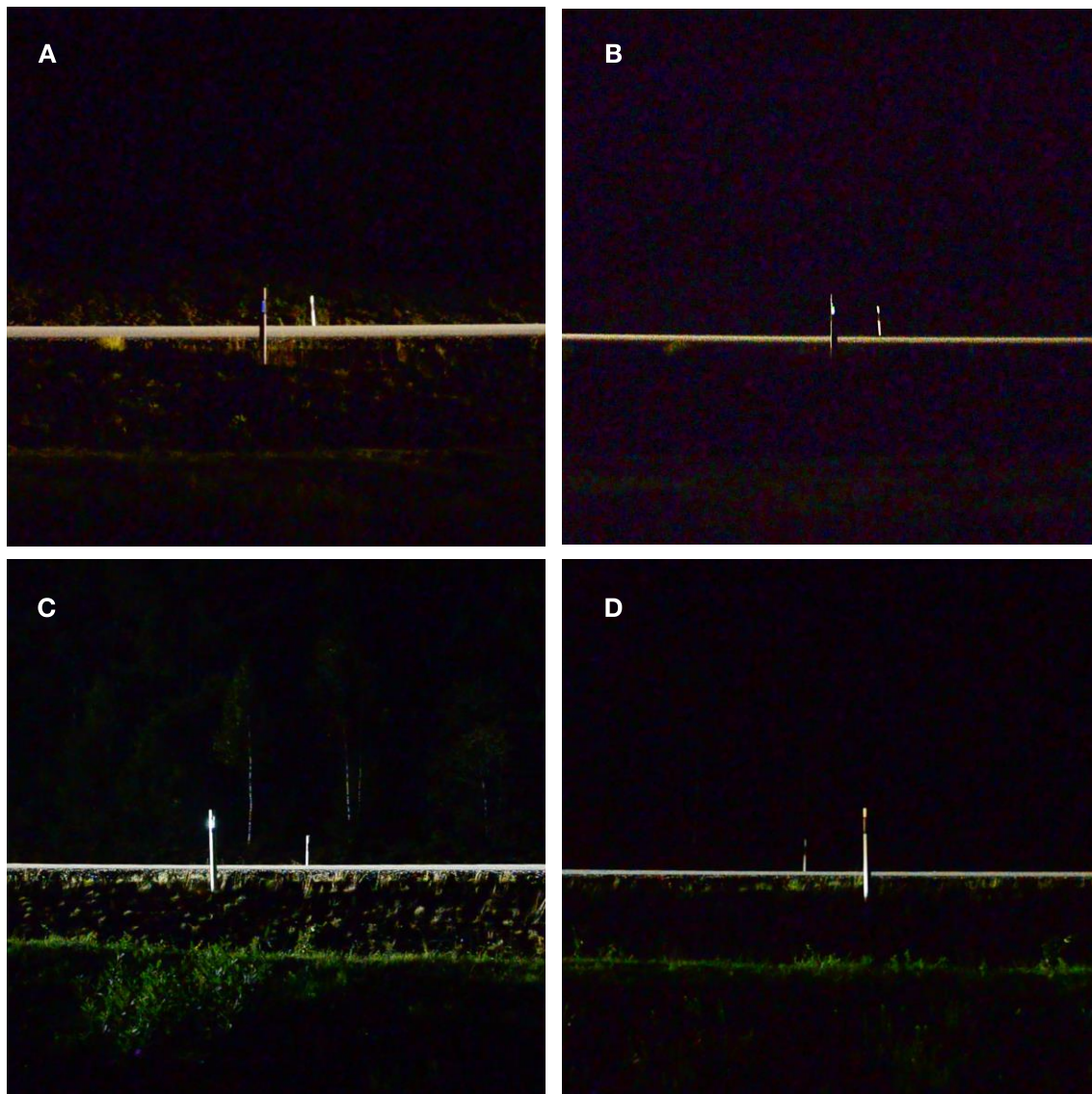
När bilarna kördes mot och förbi teststolparna syntes strålkastarlyset först på stolparnas sida och på reflektorerna, sedan i väggkantens gräsvegetation och vägytan. Även i det här fallet var det stolparna som producerade den kraftigaste ljuseffekten. Reflektorerna lyste upp starkare när bilen kom närmare, men i samma takt ökade också belysningen av omgivningen.

### 6.3.3 Test B: Verkliga väg- och trafikförhållanden

Observationer under verkliga väg- och trafikförhållanden (vid riksväg) gav liknande resultat som test A. Återigen var det stolparna som lyste upp kraftigt och dominerade ljusbilden under sekunderna innan fordonen var så nära att vägbanan och väggkanten sken upp. Runda stolpar reflekterade i regel bättre än rektangulära. Detta påverkas förmodligen dels av stolparnas tvärsnitt och dels av plastegenskaperna, eftersom det initiala avståndet mellan ett närmande fordon och teststolpen var betydligt större (över 500 m) än i test A. Detta gjorde att multivarnaren och viltspiegeln (dock ej den blåa reflektorfolien) skapade reflexer som ibland, under optimala förhållanden, syntes 6-8 sekunder innan stolpen eller vägytan blev synliga. Även om reflexen var punktvis ljusare än stolpytan, så utgjorde den dock mindre än 10-15 % av stolpytan och det samlade ljusintycket dominerades därmed av stolpen och vägytan. Oftast träffade ljuset mer eller mindre samtidigt på stolpe och reflektor. Reflexen från viltreflektorerna försvann dessutom ibland när fordonet kom närmare, förmodligen för att infallsvinkeln av strålkastarlyset ändrades.

Det hade även betydelse om bilen kördes med hel- eller halvljus. Halvljuset belyser en mycket kortare vägsträcka framför fordonet och är begränsat till en lägre höjd än helljuset (se Tabell 1). Fordon som närmade sig teststolpen med halvljus lyste i första hand upp vägytan, medan stolpen och reflektorn förblev i relativt mörker ända fram tills bilens avstånd var under ca 100 m.

Starkast av de tre modellerna reflekterade multivarnaren, följd av viltspegeln (Bild 5B). Den blåa reflektorfolien i "Halbkreisreflektorn" skapade den svagaste reflexen, som mest kunde man se ett svagt blått skimmer där reflektorn satt på stolpen (Bild 5A). I alla fall var det samlade ljusinttrycket i regel dominerat av den upplysta stolpytan, vägytan och kantvegetationen.



*Bild 5. Exempel på ljusinttrycket vid olika fordon och olika reflektorer. A) Blå foliereflektor reflekterar överlag svagast. B) Multivarnaren producerar de kraftigaste reflexerna. C) Viltspegeln skapar kraftiga reflexer men är mer känslig för ljusets infallsvinkel. D) Endast stolpe, utan reflektor, producerar en jämförbar ljusbild än en stolpe med reflektor. För fler bilder och filmer se rapportens webbsida: [www.viltchtrafik.se/viltreflektorer](http://www.viltchtrafik.se/viltreflektorer).*

#### 6.3.4 Test C: Dokumentation i Tyskland

Videodokumentationen av viltreflektorer längs några tyska vägar i Nordrhein-Westfalen, region Detmold, visade liknande resultat som test A och B. Reflektorernas effekt var i regel mycket liten och betydligt mindre än det ljusstrycket som stolpen eller vägytan förmedlade.



*Bild 6. Exempel på upplyst vägstolpe och reflektor längs en landsväg i norra Tyskland. På stolpen satt en s k Hegereflektor som liknar i den blåa foliereflektorn i bild 5A.*

## 7 Slutsatser och diskussion

Våra slutsatser från både litteraturstudien och fältexperimenten är att viltreflektorerna inte kan skapa en tillräcklig stark optisk signal för att varna eller skrämja viltet och på det sättet minska risken för olyckor. Argumenten som används av tillverkare och försäljare håller inte vid en närmare granskning och flertalet studier som rapporterar en olycksminskande effekt av viltreflektorer har inte genomförts på ett vetenskapligt och kontrollerat sätt. Mer omfattande analyser och experiment å andra sidan hittar ingen effekt av reflektorer varken på djurens beteende eller på olycksfrekvenser. Utifrån detta kan vi inte rekommendera att investera i nya uppföljningsstudier kring de hittills tillgängliga viltreflektorerna.

Såväl tekniska, biologiska som praktiska förutsättningar för att viltreflektorer ska kunna uppvisa önskad funktion och påverka djurens beteende är mycket begränsade. Under optimala förhållanden kan reflektorernas ljussignal synas som en svag ljuspunkt några sekunder innan kantstolpen och vägytan blir upplysta av fordonets strålkastare. Detta initiala ljussken utgör den enda signalen som teoretiskt skulle kunna vara av betydelse, men de efterföljande ljussignalerna från stolpe, vägyta och vegetation har starkare ljusintensitet. Dessutom är synbarheten av reflexen i hög grad beroende av var och hur reflektorerna monterats i relation till djuren och terrängen omkring vägen.

Däremot är viltreflektorerna tydligt synliga för trafikanter på vägen och skapar ett ovanligt blått synintryck. Det är möjligt, men ännu inte undersökt, att dessa blåa signaler ökar bilförarnas uppmärksamhet och på så sätt ökar chansen att upptäcka djuren i tid. Flera undersökningar som konstaterade en olycksminskande effekt av viltreflektorer anför just effekten på bilförare som en mer trovärdig förklaring än någon undvikande respons från djuren (Hedlund m.fl. 2004, D'Angelo m.fl. 2006, D'Angelo & van der Ree 2015, Riginos m.fl. 2015, Brieger m.fl. 2016, Schulze & Polster 2017).

I det följande sammanfattar vi huvudargumenten som talar emot viltreflektorers effekt på vilt.

### 7.1 Viltreflektorers ljussignal är mycket svag och endast synlig under optimala förhållanden.

Endast en bråkdel av det ljusflöde som når reflektorn från strålkastarna kan spridas i sidled och den avtar snabbt med ökande reflektionsvinkel. Skenet från reflektorn kan vara synligt några sekunder innan strålkastarna lyser upp vägyta, kantstolpe och vegetationen runt omkring. Reflektorernas funktion är därmed beroende av vägens linjeföring och topografi, samt av terrängen omkring vägen. Under beaktande av den naturliga variationen i bl.a. vägutformning, topografi, marktäckning och vegetation, kan reflektorer endast förväntas ha en begränsad synlighet för djuren.

### 7.2 Viltreflektorer monterade på vägkantstolpar producerar ingen "ljusridå" och skapar inga plötsliga ljusimpulser.

Avståndet mellan stolparna på en rak vägsträcka är med 50 m eller mer för stort för att skapa en tydlig "ljusridå", ljusreflexerna uppfattas troligen enbart som enskilda och isolerade ljuspunkter. För att skapa en ljusridå skulle reflektorerna behöva sitta mycket tätare längs vägen, kanske med 5–10 meters avstånd. Även i en kurva, där stolparna sitter

med kortare avstånd på omkring 25-30 m från varandra, syns i regel bara 2-3 reflektorer. När reflexen träffas av strålkastarljuset från en annalkande bil ger den först ett svagt, statiskt och mycket punktvis sken som långsamt blir starkare när bilen närmar sig. Någon plötslig ljusimpuls kan endast uppstå i kurva, men då är fordonet redan relativt nära så att strålkastarskenet syns direkt på vägyta och kantstolpe.

### 7.3 Viltreflektorer emitterar ljuset sämre än den av strålkastarskenet upplysta kantstolpen, vägkantsvegetationen och vägytan.

Under optimala förhållanden kan reflektorerna emittera ljus under några sekunder (5-10 sek) innan själva vägkantstolpen. Därefter skapar (den vita) vägkantstolpen, vägytan och vägkantsvegetationen under ca 10 – 15 sekunder en betydligt starkare ljussignal än vad reflektorn kan förmå. Den funktionella verkningstiden av reflektorn är därmed begränsad till endast en kort period som dessutom inte ligger i omedelbar anslutning till fordonens passage.

### 7.4 Det är osannolikt att djuren visar någon beteenderespons på små ljussignaler i vägmiljö.

Det är troligt att djur som lever i närhet till trafikerade vägar kan lära sig att koppla ihop strålkastarskenet från kantstolpar och reflektorer med ett annalkande fordon. Det är dock också möjligt att trafikvana djur inte uppfattar bilar som en allvarlig fara utan snarare vänjer sig vid de många optiska och akustiska intryck som trafiken medför. Det förefaller därför ej sannolikt att djuren reagerar undvikande på små ljussignaler från reflektorerna – utan att dra nytta av det senare tydliga strålkastarskenet.

### 7.5 Endast en mindre andel av olyckorna skulle teoretiskt kunna förhindras av viltreflektorer.

Ovanstående argument medför att viltreflektorerers potentiella olycksreducerande effekt endast kan förväntas vara mycket liten.

Funktionaliteten begränsas av:

- att reflexerna är synliga endast vid mörker, bara inom ett begränsat vinkelavstånd och att vägkantsvegetation eller kurvradien i vägen begränsar sikten till angränsande reflektorer;
- att reflexerna är i regel mycket svaga, punktvisa och funktionaliteten är begränsad till några sekunder innan vägkantstolpen och vägen lysas upp;
- att full effekt endast uppnås när fordonen framförs med helljus och på en längre raksträcka;
- att placering av reflektorerna måste vara optimal i relation till omgivningen och att reflektorytan måste vara ren.

Det finns alternativa hypoteser som kan bättre kan förklara den rapporterade olycksminskningen.



Den i massmedia rapporterade effektiviteten av viltreflektorer bygger ofta på undermåliga studier, bristfälliga data och analyser som lätt kan leda till en misstolkning av den naturliga variationen i olycksfrekvenser. Inverkan från andra, okontrollerade, omvärldsfaktorer kan sällan uteslutas. Mer omfattande och vetenskapliga studier å andra sidan har i regel inte kunnat bekräfta någon olycksminskande effekt av viltreflektorer.

Några få undantag antyder trots allt ett samband mellan ljusreflexer längs vägen och en minskning i viltolyckstal. Det är dock mycket möjligt att effekten inte beror på att djuren aktivt undviker trafiken utan snarare att bilförare uppmärksammar reflektorerna och anpassar sitt körbeteende därefter. Med andra ord, det är troligen inte djuren som varnas av viltreflektorerna utan snarare bilförarna.

## 8 Rekommendation

Det förefaller inte meningsfullt att investera i ytterligare tester av viltreflektorer enligt ”bygg-och-lär” principen. En utvärdering av reflektoreffekten genom analys av förändringar i viltolycksfrekvens kräver omfattande fleråriga studier längs flera jämförbara teststräckor och passande kontrollsträckor med genomsnittlig olycksbelastning. Men även då är risken stor för att inte kunna upptäcka en signifikant effekt stor på grund av den naturliga mellanårsvariationen i olyckshändelser.

Effektivare och mer relevanta vore därför studier på djurens beteende gentemot optiska (och andra) varningssignaler. Här kan resultat uppnås mycket snabbare och under kontrollerade, experimentella förhållanden. Befintliga studier visar dock att djuren endast sällan eller mycket lite reagerar på optiska signaler från reflektorer i vägmiljö.

Det som förefaller mest lovande är däremot studier på hur reflektorer eller andra varningsanordningar påverkar förarnas uppmärksamhet och körbeteende. Här är kunskaperna ännu mycket begränsade (se dock Antonson m.fl. 2015, Jägerbrand & Antonson 2016) och samtidigt möjligheterna till experimentella studier många. Om reflektorerna leder till en medveten förändring i körbeteendet eller endast drar förarnas uppmärksamhet mot vägkanten, eller om reflektorer (och kantstolpar) skapar en optisk ”ljusridå” mot vilken djuren vid vägkanten kan bli synliga är oklart. En riktad och fokuserad varning som är begränsad i både tid och rum borde kunna ge störst effekt på förarbeteende.

Vi rekommenderar:

- Experiment med olika (inte bara optiska) varningssignaler under kontrollerade förhållanden för att studera djurens beteenderespons.
- Experiment med olika optiska varningssignaler längs väg eller i fordon för att testa effekten på bilförarnas uppmärksamhet och körbeteende.

# Tack

Vi tackar Anke Benten (Univ. Göttingen), Falko Brieger (Univ. Freiburg), Jens-Ulrich Polster (TU Dresden) för diskussioner och samtal kring deras studier om viltreflektorer. Vi är också tacksamma till Motzener Kunststoff- und Gummiverarbeitung GmbH, Tyskland för intresset i studien och för tillhandahållandet av Multivarnreflektorn. Rapporten har granskats av Ulrika Lundin (Trafikverket, PLKvm) och Mattias Olsson (Enviroplaning) som vi tackar före goda synpunkter och rättningar. Studien finansierades av Skyltfonden.

# Referenser

- Almkvist, B. m.fl. 1980. Slutrapport Viltolycksprojekt (VIOL). - Vägverket.
- Antonson, H. m.fl. 2015. Experiencing moose and landscape while driving: A simulator and questionnaire study. - *J. Environ. Psychol.* 41: 91–100.
- Auto, motor und sport 2014. Wildwechsel: Neuer Reflektor soll Wildunfälle vermeiden. - *Auto Mot. Sport*
- Brieger, F. m.fl. 2016a. Effectiveness of light-reflecting devices: A systematic reanalysis of animal-vehicle collision data. - *Accid. Anal. Prev.* 97: 242–260.
- Brieger, F. m.fl. 2016b. Effectiveness of light-reflecting devices: A systematic reanalysis of animal-vehicle collision data. - *Accid. Anal. Prev.* 97: 242–260.
- Brieger, F. m.fl. 2017. Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. - *Eur. J. Wildl. Res.* 63: 72.
- Cramer, P. m.fl. 2015. Transportation and Large Herbivores. - In: *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 344–352.
- D'Angelo, G. J. 2007. Development and evaluation of devices designed to minimize deer-vehicle collisions.
- D'Angelo, G. & van der Ree, R. 2015. Use of Reflectors and Auditory Deterrents to Prevent Wildlife–Vehicle Collisions. - In: *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 213–218.
- D'Angelo, G. J. m.fl. 2006. Evaluation of Wildlife Warning Reflectors for Altering White-Tailed Deer Behavior Along Roadways. - *Wildl. Soc. Bull.* 34: 1175–1183.
- Eklom, S. 1979. Undersökning av viltspeglars effekt. - Statens Vägverk / Trafikverket.
- Elvik, R. m.fl. 2009. *Handbook of Road Safety Measures*. - Emerald Group Publishing Limited.
- Glista, D. J. m.fl. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. - *Landsc. Urban Plan.* 91: 1–7.
- Hedlund, J. H. m.fl. 2004. Methods to reduce traffic crashes involving deer: what works and what does not. - *Traffic Inj Prev* 5: 122–31.
- Holderegger, R. & Di Giulio, M. 2010. The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. - *Basic Appl. Ecol.* 11: 522–531.
- Hothorn, T. m.fl. 2012. Large-Scale Model-Based Assessment of Deer-Vehicle Collision Risk. - *PLoS ONE* 7: e29510.
- Huijser, M. P. m.fl. 2009. Cost-Benefit Analyses of Mitigation Measures Aimed at Reducing Collisions with Large Ungulates in the United States and Canada: a Decision Support Tool. - *Ecol. Soc.* 14: 15.

- Jacobs, G. 1993. The distribution and nature of colour vision among the mammals. - *Biol. Rev.* 68: 413–471.
- Jacobs, G. H. 2009. Evolution of colour vision in mammals. - *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364: 2957–2967.
- Jägerbrand, A. 2014. Collisions and accidents with roe deer in Sweden during 10 years (2003-2012). Variation in time, space and costs. - VTI Report.
- Jägerbrand, A. K. & Antonson, H. 2016. Driving behaviour responses to a moose encounter, automatic speed camera, wildlife warning sign and radio message determined in a factorial simulator study. - *Accid Anal Prev* 86: 229–38.
- Langbein, J. m.fl. 2010. Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation. - In: Putman, R. m.fl. (eds), *Ungulate management in Europe: problems and practices 2010*. pp. 215–259.
- Lavsund, S. & Sandegren, F. 1991. Moose-vehicle relations in Sweden. - *Alces* 27: 118–126.
- Lindquist, M. & Lundström, R. 1997. Metoder för att minska viltolyckor: en översikt. - Vägverket Publikation TR40-A 96:1841.
- Lundkvist, S.-O. m.fl. 2014. Kantstolpars effekt på trafikantbeteendet.: 50.
- Mein Bezirk 2015a. Deutlich weniger Wildunfälle durch Warngeräte. - meinbezirk.at
- Mein Bezirk 2015b. Wildwarngeräte bewähren sich. - meinbezirk.at
- Mein Bezirk 2017. Linz-Land: Wildwarngeräte bewähren sich. - meinbezirk.at
- Morrison, M. L. m.fl. 2008. *Wildlife Study Design*. - Springer Science & Business Media.
- Müller, S. & Berthoud, G. 1995. Sicherheit fauna/verkehr: Praktisches Handbuch für Bauingenieure. - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de génie civil. Laboratoire des voies de circulation (LAVOC).
- Neumann, W. m.fl. 2012. Difference in spatiotemporal patterns of wildlife road-crossings and wildlife-vehicle collisions. - *Biol. Conserv.* 145: 70–78.
- Niemi, M. 2016. Animal-vehicle collisions - from knowledge to mitigation.
- NRK 2007. Suksess med viltreflektorar. - NRK
- Olbrich, P. 1984. Untersuchung der Wirksamkeit von Wildwarnreflektoren unter der Eignung von Wilddurchlässen. - *Z. Für Jagdwiss.* 30: 101–116.
- Ollivier, F. J. m.fl. 2004. Comparative morphology of the tapetum lucidum (among selected species). - *Vet. Ophthalmol.* 7: 11–22.
- Pafko, F. & Kovach, B. 1996. Minnesota experience with deer reflectors.: 10.
- Peichl, L. 1997. Die Augen der Säugetiere: Unterschiedliche Blicke in die Welt. - *Biol. Unserer Zeit* 27: 96–105.
- Putman, R. J. 1997. Deer and road traffic accidents: Options for management. - *J. Environ. Manage.* 51: 43–57.
- Ramp, D. & Croft, D. B. 2006. Do wildlife warning reflectors elicit aversion in captive macropods? - *Wildl. Res.* 33: 583–590.
- Ree, R. van der m.fl. 2015. *Handbook of Road Ecology*. - John Wiley & Sons.
- Reeve, A. F. and Anderson, S. H. 1993. Ineffectiveness of Swareflex Reflectors at Reducing Deer-Vehicle Collisions. - *Wildl. Soc. Bull.* 1973-2006 21: 127–132.
- Riginos, C. m.fl. 2015. Effects of Wildlife Warning Reflectors (“Deer Delineators”) on Wildlife-Vehicle Collisions in Central Wyoming.: 93.
- Romin, L. A. and Bissonette, J. A. 1996. Deer-vehicle collisions: Status of state monitoring activities and mitigation efforts. - *Wildl. Soc. Bull.* 24: 276–283.
- Rytwinski, T. m.fl. 2016a. How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis. - *PLoS ONE* 11: e0166941.
- Schafer, J. A. and Penland, S. 1985. Effectiveness of Swareflex Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Accidents. - *J. Wildl. Manag.* 49: 774–776.

- Schafer, J. m.fl. 1984. Effectiveness of Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Accidents in Washington State.: 21.
- Schilderwerk Beutha 2017. Schilderwerk Beutha GmbH. - Halbreisreflektor
- Schmitt, P. 2013. Wildwarnreflektoren. - Wild Hund 15/2013: 48–49.
- Schulze, C. & Polster, J.-U. 2017. Wirkungsweisen von Wildwarnern.
- Schwabe, K. A. m.fl. 2000. An analysis of deer-vehicle collisions: the case of Ohio. - Hum. Confl. Wildl. Econ. Consid. in press.
- Seiler, A. 2004. Trends and spatial patterns in ungulate-vehicle collisions in Sweden. - Wildl. Biol. 10: 301–313.
- Seiler, A. & Olsson, M. 2017. Viltåtgärder på väg - en lönsamhetsbedömning (Cost-benefit of wildlife mitigation measures on roads.). - Triekol report, CBM publ. 94.
- Seiler, A. m.fl. 2015. Analysis of the permeability of transport infrastructure for ungulates. (In Swedish: Analys av infrastrukturens permeabilitet för klövdjur.). - Trafikverket Publikation 2015:254.
- Sivic, A. & Sielecki, L. E. 2001. Wildlife Warning reflectors - spectrometric evaluation.
- Steiner, W. m.fl. 2014. A review on the temporal pattern of deer–vehicle accidents: Impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. - *Accid. Anal. Prev.* 66: 168–181.
- Svenska Jägareförbundet 2016. Rådjur. - jagareforbundet.se
- Thurfjell, H. m.fl. 2009. Habitat use and spatial patterns of wild boar *Sus scrofa* (L.): agricultural fields and edges. - *Eur. J. Wildl. Res.* 55: 517–523.
- Trafikverket 2015. Krav för vägars och gators utformning. (Trafikverket, Ed.). - Trafikverket Publikation 2015:086.
- Trothe, C. m.fl. 2016. Wildunfälle verhindern – was hilft wirklich? Präventionsmaßnahmen auf dem Prüfstand.: 140.
- Tufto, J. m.fl. 1996. Habitat Use and Ecological Correlates of Home Range Size in a Small Cervid: The Roe Deer. - *J. Anim. Ecol.* 65: 715–724.
- Ujvári, M. m.fl. 1998. Effectiveness of Wildlife Warning Reflectors in Reducing Deer-Vehicle Collisions: A Behavioral Study. - *J. Wildl. Manag.* 62: 1094–1099.
- Underwood, A. J. 1997. Environmental decision-making and the precautionary principle: what does this principle mean in environmental sampling practice? - *Landsc. Urban Plan.* 37: 137–146.
- Vägverket 2004. Vägars och gators utformning (VGU 2004). - Vägverket, Publikation.
- van der Grift, E. A. m.fl. 2015. Guidelines for Evaluating the Effectiveness of Road Mitigation Measures. - In: *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 129–137.
- Vercauteren, K. C. & Pipas, M. J. 2003. A Review of Color Vision in White-Tailed Deer.
- Vercauteren, K. C. m.fl. 2003. Red lasers are ineffective for dispersing deer at night. - *Wildl. Soc. Bull.* 31: 247.
- Vercauteren, K. C. m.fl. 2006. Green and Blue Lasers are Ineffective for Dispersing Deer at Night. - *Wildl. Soc. Bull.* 34: 371–374.
- Wilson, R. E. m.fl. 2015. A genetic discontinuity in moose (*Alces alces*) in Alaska corresponds with fenced transportation infrastructure. - *Conserv. Genet.*: 1–10.
- Woodard, T. N. m.fl. 1973. Effectiveness of Swareflex wildlife warning reflectors in reducing deer-vehicle accidents.
- Wright, C. C. m.fl. 1988. Estimating the regression-to-mean effect associated with road accident black spot treatment: Towards a more realistic approach. - *Accid. Anal. Prev.* 20: 199–214.
- Zacks, J. L. 1985. An investigation of Swareflex wildlife warning reflectors.: 37.
- Zacks, J. L. 1986. Do white-tailed deer avoid red? An evaluation of the premise underlying the design of Swareflex Wildlife Reflectors. - *Transp. Res. Rec.* in press.





**TRAFIKVERKET**

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)