

Kompletterande studie av dödlighet för fladdermöss vid vindkraftverk med respektive utan driftreglering

Stefan Pettersson, Marcus Elfström & Richard Ottvall

2025-10-29



Förord

Forskningsprogrammet Vindval är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Naturvårdsverket med uppgiften att ta fram och förmedla vetenskapligt baserade fakta om vindkraftens effekter på människa, natur och miljö. Inom programmet har hittills över 50 forskningsprojekt finansierats. Utöver detta har fyra syntesrapporter tagits fram, varav tre har uppdaterats. I syntesrapporterna sammanställer och bedömer experter de samlade forskningsresultaten och erfarenheterna av vindkraftens effekter nationellt samt internationellt inom fyra områden: Människors intressen, fåglar och fladdermöss, marint liv och däggdjur på land.

Resultaten från Vindvals forskning har bidragit till underlag för miljökonsekvensbeskrivningar samt planerings- och tillståndprocesser i samband med etablering av vindkraftsanläggningar. Dessutom ska resultaten från Vindval komma till användning i tillsyn och kontrollprogram samt myndigheters vägledning.

Vindval ställer höga krav vid vetenskaplig granskning av forskningsansökningar och forskningsresultat, samt vid beslut om att godkänna rapporter och publicering av projektens resultat.

Denna kompletterande studie har ingått i Vindvals fokusområde om att ta fram ett kunskapsunderlag om erfarenheter från de senaste årens vindkraftutbyggnad i Sverige. Studien är en påbyggnad på rapport 7169 (2024) "Vindkraft i skogsmiljö - beräknad dödlighet hos fladdermöss och fåglar" och innehåller fältstudier ytterligare ett år för att ge ett fördjupat kunskapsunderlag om driftsreglering för fladdermöss. Den kompletterande studien är genomförd med samma metodik som beskrivs i rapport 7169 och har finansierats av Green Power Sweden (tidigare Svensk Vindenergi).

Den kompletterande studien är skriven av Stefan Pettersson (Eidolon Ekologi AB), Marcus Elfström (EnviroPlanning AB), Richard Ottvall (Lunds universitet & Ottvall Consulting AB).

Författarna svarar för studiens innehåll.

Stockholm oktober 2025

Kerstin Jansbo
Programchef, Vindval

Innehåll

Sammanfattning	4
1. Syfte och bakgrund	5
2. Datainsamling och datakällor.....	5
3. Statistisk modellering	7
3.1 Beräkning av dödlighet.....	7
3.2 Effekt av driftreglering på dödlighet	8
4. Resultat	9
4.1 Artidentifiering 2024 samt under 2021–2023.....	9
4.2 Uppskattad dödlighet	10
4.3 Jämförelse av dödlighet mellan Bat Mode och oreglerat.....	10
4.4 Dödlighet i förhållande till aktivitet hos fladdermöss	11
I; Samtliga artgrupper sammanslagna.....	11
II & III; Artgrupperna NVE samt PIP	14
IV; Artgruppen ENIL	15
5. Diskussion	18
6. Slutsats.....	20
7. Referenser	22
Bilaga 1.	23
I; Samtliga artgrupper sammanslagna.....	24
II; Artgruppen NVE.....	25
III; Artgruppen PIP	26
IV; Artgruppen ENIL	27

Sammanfattning

Studien visar att en driftreglering som skyddsåtgärd för fladdermöss minskar dödligheten vid vindkraftverk i skogsmiljöer i Sverige under perioden 15 juli-15 september med i genomsnitt cirka 62%. Störst effekt av driftreglering beräknades för större brunfladdermus där dödligheten minskade med cirka 64%. Vid driftreglering var dödligheten av pipistreller och nordfladdermöss cirka 33 respektive 35% lägre jämfört med oreglerade vindkraftverk, även om dessa skillnader inte var statistiskt säkerställda.

De undersökta skogsområdena visar att dödligheten främst sker i region 1 (Kalmar, Blekinge och Skåne län). Dödlighet av fladdermöss är mycket låg vid vindkraftverk i andra studerade skogsmiljöer i landet.

Cirka 89% av alla funna kadaverfynd som kunde bestämmas till art i den här studien utgörs av större brunfladdermus och dvärgpipistrell. I Sverige är det dessa två arter som bör behandlas som högriskarter i de skogsmiljöer som undersökts. Vår bedömning är att det är större brunfladdermus som riskerar att påverkas negativt på populationsnivå av dödlighet vid vindkraftverk. Arten migrerar söderut till kontinenten där den också är riskutsatt för vindkraft. Vi rekommenderar att driftreglering tillämpas där arten uppvisar hög aktivitet under perioden 15 juli-15 september, särskilt i skogsmiljöer i region 1. Det gäller även andra delar av landet där större brunfladdermus förekommer frekvent och som inte ingått i denna studie.

Nordfladdermus förekommer bland kadaverfynd men fåtaligt. Artens uppmätta aktivitet kan vara hög vid vindkraftverk i södra Sverige men vi fann en låg korrelation mellan dödlighet och aktivitet. Resultaten tyder på att dödligheten vid vindkraftverk är slumpmässig och att artens beteende inte gör arten till en högriskart i vindkraftssammanhang. Vi anser inte att det är biologiskt motiverat med driftreglering i norra delen av Sverige, där arten oftast är den enda regelbundet om än sparsamt förekommande arten.

Det är en stor variation i uppskattad dödlighet av fladdermöss vid enskilda vindkraftverk som inte enbart kan förklaras av uppmätt aktivitet, temperatur och vindstyrka. Den här studien visar dock att driftreglering vid vindkraftverk i skogsmiljöer i region 1 under perioden 15 juli-15 september vid vindstyrkor under 6 m/s är en kraftfull skyddsåtgärd för att minska dödligheten av fladdermöss. Det finns fortfarande kunskapsluckor kring hur driftreglering kan finjusteras för att ytterligare reducera riskerna för fladdermöss och samtidigt reducera produktionsbortfallet vid driftstopp. Forskning och teknikutveckling pågår i andra länder för att uppnå just detta.

1. Syfte och bakgrund

Vid en treårig Vindvalsstudie (rapport 7169) utförd under åren 2021 till 2023 beräknades dödligheten av fladdermöss vid vindkraftverk i skogsmiljö. Studien analyserade effekten av driftreglering men också hur dödlighet kunde förklaras av fladdermusaktivitet vid verken. Osäkerheter när det gällde huruvida vissa av verken som ingick i studien körde verken driftreglerade gjorde att det insamlade datamaterialet innehöll brister, vilket medförde att nyttan av driftreglering inte kunde analyseras fullt ut.

Green Power Sweden (tidigare Svensk Vindenergi) tog då initiativet att inom Vindvals program finansiera en kompletterande studie under 2024. Syftet med det extra året var att analysera och utvärdera effekten av driftreglering utifrån ett större och jämnare fördelat urval av reglerade och oreglerade verk. Vidare var syftet att även fortsätta med inspelningar av fladdermusaktivitet vid ett urval av verksplatser för att bättre kunna analysera sambandet mellan fladdermusaktivitet och dödlighet. För utförligare beskrivning av metodik i fält och av analyser hänvisas till Vindvals rapport 7169. I de fall den här studien skiljer sig från metoderna använda i rapport 7169 beskrivs detta i denna PM.

Analysresultat beskrivs och presenteras övergripande i rapporten medan tekniska detaljer beskrivs i Bilaga 1. Den nya analysen av dödlighet gjordes på hela materialet från 2021–2024. Till skillnad från studien 2021–2023 säkerställdes, både innan och under studien, att driftreglering aktiverades enligt förutbestämda kriterier. Avvikelser i driftregleringens funktion rapporterades vid vindkraftverk som ingick i studien 2024. Dessa var dock av tillfällig karaktär och omfattade endast enstaka dagar eller timmar, vilka bedömdes ha försumbar påverkan på de resultat som presenteras här.

2. Datainsamling och datakällor

Undersökningen under åren 2021 till 2023 genomfördes eftersök vid totalt 105 vindkraftverk i 15 vindparker från Skåne i söder till Dalarnas län eller Västerbotten läns inland samt vid en kustnära vindpark i Västernorrlands län. Den högsta totalhöjden på vindkraftverk var 185 meter. En viktig aspekt av studien var att utvärdera dödligheten av fladdermöss med en betydande geografisk täckning av flera regioner över i stort sett hela landet. Vid studien 2024 utvaldes 78 vindkraftverk, vilka omfattade elva vindparker, där eftersök av kadaver av fladdermöss och fåglar med hund genomfördes (figur 1). Målsättningen var att fördela vindkraftverk i liknande naturmiljöer och helst att en vindpark med driftreglering för fladdermöss kunde förläggas till en närliggande vindpark utan driftreglering. Samtliga vindparker var belägna i skog och i huvudsak omgivna av hårt brukad produktionsskog. Vindkraftverk var inte lokaliserade i närhet till hus, vatten eller objekt av hög naturvärdesklass, miljöer som särskilt kan gynna fladdermusförekomst. I många fall omgärdades vindkraftverk av nyligen avverkad skog med uppvuxen vegetation som försvårade eftersöksmöjligheter.

Villkoren för driftreglering var desamma vid de verk som ingick i studien 2024 där en driftreglering aktiverades mellan skymning och gryning samt vid vindstyrkor lägre än 6 m/s under perioden 15 juli-15 september, enligt rekommendationerna i Vindvals rapport från 2017 (rapport 6740). Under studien 2021–2023 varierade driftregleringsvillkoren mellan vissa vindparker och enskilda verk. Exempelvis hade vissa verk/vindparker kravet att regleringen skulle tillämpas vid 5 m/s eller att perioden för regleringen avvek från perioden 15 juli–15 september. Åtta av vindparkerna 2024 ingick inte i studien som presenterats i rapport 7169. Studien inriktades till region 1 (Skåne och Kalmar län) samt två vindparker i region 2 (Halland). Vindkraftverk fördelades mellan 41 driftreglerade verk samt 37 oreglerade verk. I fem vindparker var totalhöjden på verk 200 meter.



Figur 1. Elva vindparker ingick i studien 2024. Punkterna på kartan anger ungefärlig position på vindparkerna.

Nytt för 2024 var att första eftersöket gjordes i månadsskiftet juni-juli, det vill säga två veckor tidigare på säsongen än under åren 2021–2023. Syftet med det första besöket var att ”rensa området” från tidigare kadaver, vilket gör att studien utökades och omfattade hela perioden juli-september jämfört med studien 2021–2023. Det andra eftersöket gjordes omkring 15 juli för att fånga upp kadaver innan driftregleringen hade aktiverats. Under 2021–2023 gjordes åtta besök jämfört med nio besök under 2024.

För varje vindkraftsverk registrerades:

- Regionstillhörighet (1–6 de första tre åren medan endast 1 och 2 under 2024).
- Andel öppen grusmark kontra omgivande skogsmark inom sökytans radie av 70 m, med syftet att undersöka om kadaverpredation varierade mellan öppen grusmark och skogsmark.
- Lokaliseringens höjd över havet där vi förväntade oss en lägre aktivitet och dödlighet av fladdermöss på högre belägna platser.
- Rotorstorlek och frigångshöjd - indikatorer för kollisionsrisk.
- Årtal för inventering för att fånga upp mellanårsvariationer.
- Förekomst av BatMode (om verket varit föremål för driftreglering för att minska dödlighet).

Nytt för 2024 var också att kadaver skickades till experter på Naturhistoriska Riksmuseet för artbestämning av funna fladdermöss. Där det var möjligt gjorde experterna också en bestämning av kön och ålder, detta kräver dock att kadaver är i färskt skick, det vill säga att dödsfallet inträffat kort innan de påträffats.

För att registrera fladdermusaktiviteten under studien 2024 sattes autoboxar ut vid tio av de elva vindparkerna. I en av vindparkerna i region 1 där två verk ingick i studien kunde inget tillträde till verken tillhandahållas. Totalt sattes 18 autoboxar ut. Vid åtta av vindparkerna övervakades två verksplatser. I de två andra vindparkerna användes en autobox. Aktiviteten övervakades från början av juli till och med minst september månad ut. Vid valet av verksplatser inom respektive vindpark var ambitionen att hitta verksplatser med något högre naturvärden inom respektive vindpark. Detta för att fladdermusaktiviteten förväntades vara högre i närheten av sådana skogsbestånd och därmed kan förväntas utgöra ett så kallat värsta fall avseende aktiviteten på fladdermöss.

3. Statistisk modellering

3.1 Beräkning av dödlighet

Fladdermusdödlighet vid vindkraftverk uppskattades för hela perioden 2021–2024 genom att kombinera observationer av kadaver med två statistiska modeller. De två modellerna användes sedan tillsammans i analysen av effekten av driftreglering. Vid vindkraftverk där kadaverfynd gjorts användes programmet GenEst för att uppskatta dödligheten vid respektive verk (Dalthorp m.fl. 2018) och vid vindkraftverk utan kadaverfynd tillämpades en Bayesiansk metod i programmet JAGS (Plummer 2003). Resultaten är baserade på en 90-dagarsperiod (juli-september) med syftet att omfatta hela högriskperioden för fladdermöss i samband med vindkraft.

I den Bayesianska modellen skapades olika så kallade *priors* per region och år, vilka motsvarar värden av förväntad dödlighet, genom att modellera variationen i fladdermusaktivitet mellan regioner samt att använda denna relation för att uppskatta dödlighet per säsong (årtal). Data för aktivitet hämtades från studien som gjordes 2021–2023 och som finns presenterad i rapport 7169. *Priors* per region och år beräknades med hjälp av aktivitetsdata för fladdermöss (antal inspelningar), under antagandet att det finns en positiv korrelation mellan aktivitet och dödlighet. Det innebär att variationen i aktivitet mellan regioner antogs vara densamma som variationen i dödlighet mellan samma regioner. Denna aktivitetsmodell använde dödlighetsdata från sydligaste delarna av landet som referens för respektive årtal (det vill säga region 1 där dödligheten var högst) för att sedan beskriva en förväntad dödlighet i övriga regioner.

Modeller med flera variabler (såsom driftreglering, årtal, höjd över havet, region och andel öppen grusmark) som samtidigt fångar variation i den beroende variabeln *uppskattad dödlighet* tillämpades. Sådana modeller kallas multivariata regressionsmodeller.

Dödlighet uppskattades för fyra olika kategorier av fladdermöss; samtliga arter sammanslagna (I), endast gruppen NVE – större brunfladdermus och gråskimlig fladdermus (II), endast gruppen PIP - pipistreller (III) samt endast artgruppen ENIL - nordfladdermus (IV).

3.2 Effekt av driftreglering på dödlighet

Under studien 2024 säkerställdes dels en bättre kontroll av huruvida verken drevs driftreglerade, dels en bättre fördelning mellan reglerade och oreglerade verk. I analysen ingår också resultaten från studien 2021–2023 vid de vindparker där vi har säkra uppgifter att regleringen fungerat enligt stipulerade krav. Uppskattad dödlighet jämfördes mellan verk utrustade med BatMode och oreglerade vindkraftverk. För att analysera faktorerna som påverkar dödlighet användes en fördelning som kallas Gamma och modeller av typen Generalized Linear Mixed Effects Models (GLMM) med funktionen log-link. För att kontrollera för variation mellan de olika vindkraftsverken så inkluderades identiteten för enskilda vindkraftverk som en slumpmässig variabel. Modeller tog hänsyn till olika regioner, årtal, frihöjd, höjd över havet och rotordiameter.

4. Resultat

4.1 Artidentifiering 2024 samt under 2021–2023

Totalt under studien 2021–2024 hittades 242 fladdermuskadaver av fem arter. Drygt 90% av kadaver påträffades mellan 15 juli och 30 september (Tabell 1–3). Vid studien 2021–2023 hittades 102 kadaver under perioden 15 juli-30 september (notera att driftreglering i enstaka fall inte var aktiverad under just den perioden). Av dessa påträffades 64 i region 1 och 17 i region 2.

Under 2024 påträffades 140 kadaver av fladdermöss, alla mellan 29 juni och 30 september 2024. Tre kadaver hittades vid en av vindparkerna med oreglerade verk i region 2 och övriga i region 1. Inga avvikelser fanns mellan våra artbestämningar och expertisen på Naturhistoriska Riksmuseet. Av funna kadaver 2024 var fem i så dåligt skick att de inte kunde identifieras till art utan förblev obestämda (som pipistrell eller fladdermus). Dvärgpipistrell (72 individer) och större brunfladdermus (48 individer) utgjorde tillsammans 89% av 135 kadaverfynd som kunde bestämmas till art. Därutöver påträffades tolv nordfladdermöss (8,9%), två trollpipistreller (1,5%) samt en gråskimlig fladdermus (0,7%).

För de kadaver där det var möjligt att bestämma ålder var fördelningen mellan olika åldrar respektive kön helt jämn. Således utgjorde tio individer vuxna djur och tio var juvenila, det vill säga födda 2024. Av 19 könsbestämda individer var tio hanar och nio honor.

Tabell 1. Påträffade nordfladdermöss vid vindkraftverk under 2021–2024. Notera att siffrorna endast redovisar antalet hittade kadaver under respektive år och inte den modellerade dödligheten.

	Före 1 juli	1–15 juli	Oreglerat 15 juli-15 sep	BatMode 15 juli-15 sep	16–30 sep
2021	X	-	14	-	-
2022	X	1	7	1	-
2023	X	1	3	1	-
2024	3	-	6	3	-
Totalt	3	2	30	5	0

Tabell 2. Påträffade pipistreller vid vindkraftverk under 2021–2024. Notera att siffrorna endast redovisar antalet hittade kadaver under respektive år och inte den modellerade dödligheten.

	Före 1 juli	1–15 juli	Oreglerat 15 juli-15 sep	BatMode 15 juli-15 sep	16–30 sep
2021	X	-	12	2	-
2022	X	1	11	1	-
2023	X	-	2	1	2
2024	-	4	53	12	1
Totalt	0	5	78	16	3

Tabell 3. Påträffade större brunfladdermöss och gråskimliga fladdermöss vid vindkraftverk under 2021–2024. Notera att siffrorna endast redovisar antalet hittade kadaver under respektive år och inte den modellerade dödligheten.

	Före 1 juli	1–15 juli	Oreglerat 15 juli-15 sep	BatMode 15 juli-15 sep	16–30 sep
2021	X	-	10	1	-
2022	X	-	16	-	1
2023	X	-	3	-	1
2024	-	-	23	25	-
Totalt	0	0	52	26	2

4.2 Uppskattad dödlighet

Här redovisas inte någon ny beräkning av uppskattad dödlighet för fladdermöss vid vindkraftverk i region 1 och 2. I studien 2021–2023 beräknades dödligheten i region 1 till cirka 6 individer per oreglerat verk och år (15 juli-15 september). För region 2 var den uppskattade dödligheten endast omkring 0,06 individer per oreglerat verk och år (15 juli-15 september). I figurer 8 till 11 i Bilaga 1 redovisas jämförelse i dödlighet hos fladdermöss mellan oreglerade och reglerade vindkraftverk. Figurerna redovisas separat per kategori av fladdermöss.

Den uppskattade dödligheten varierar stort mellan vindkraftverk där dödligheten är högst i region 1 och lägre vid verk på högre höjd över havet. Dödligheten varierar också mellan år. I avsnitt 4.4 beskrivs analyser av hur dödlighet samvarierar med den inspelade fladdermusaktiviteten. Frigångshöjd, rotordiameter och arealen öppen grusmark förklarar inte entydigt variationen i dödlighet.

4.3 Jämförelse av dödlighet mellan Bat Mode och oreglerat

Först analyserades dödlighet 2021–2024 för samtliga artgrupper sammanslagna (I). Resultaten av analyserna visar att för samtliga fladdermöss oavsett art var dödligheten

cirka 62% lägre vid vindkraftverk som tillämpade en reglering, jämfört med vid oreglerade verk (95-procentigt konfidensintervall: 36–77%).

Därefter analyserades enbart artgruppen NVE (II). Resultaten av analyserna visar att för större brunfladdermus (fåtal gråskimliga fladdermöss inkluderade) var dödligheten cirka 64% lägre vid vindkraftverk som har BatMode, jämfört med vid oreglerade verk (95-procentigt konfidensintervall: 41–78%).

I artgruppen PIP eller pipistreller (III) visade resultaten att dödligheten tenderade att vara omkring 33% lägre vid vindkraftverk med BatMode, jämfört med oreglerade verk, men det fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad ($p=0,12$).

För enbart arten nordfladdermus, ENIL, (IV) skiljde sig dödligheten inte åt mellan vindkraftverk som har BatMode, jämfört med oreglerade verk ($p=0,10$). Dödligheten tenderade dock vara cirka 35% lägre vid vindkraftverk med BatMode.

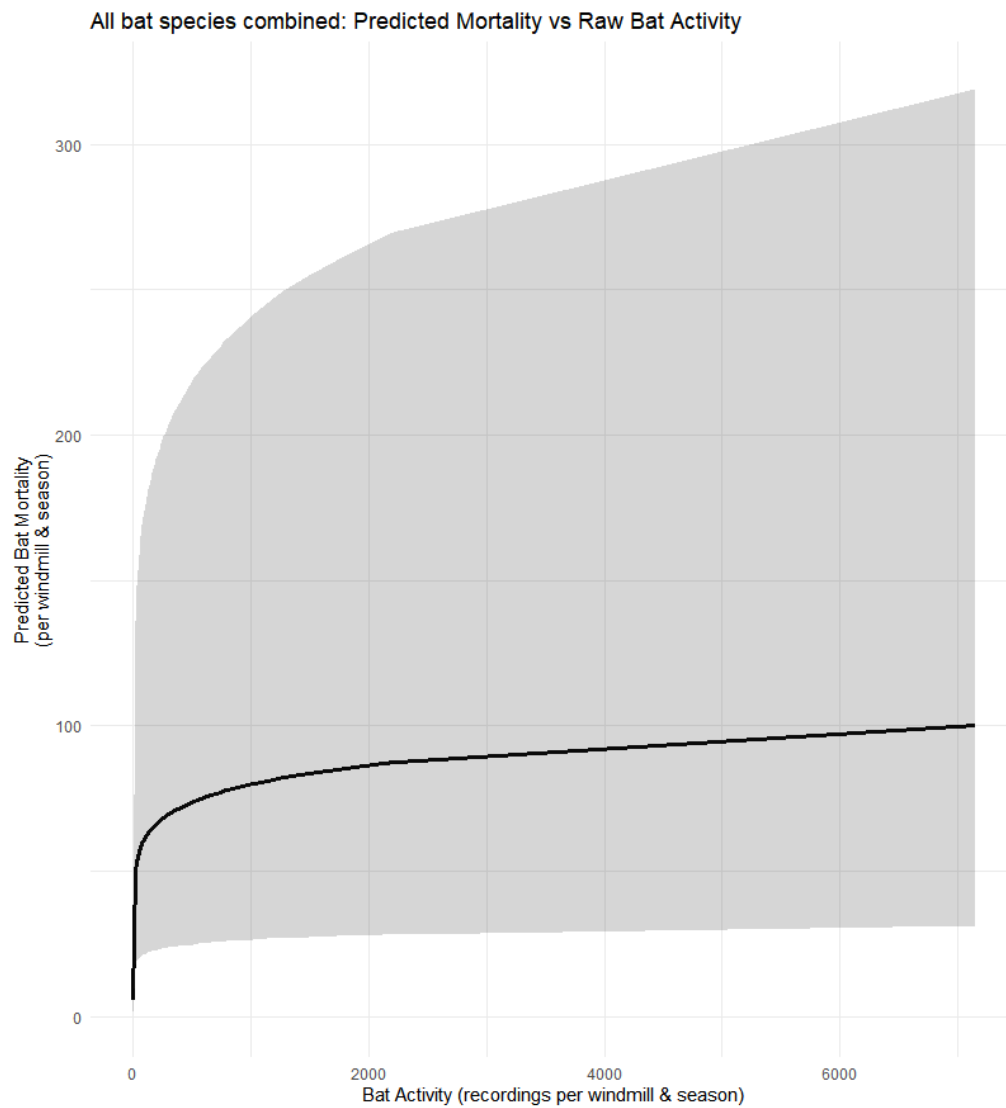
4.4 Dödlighet i förhållande till aktivitet hos fladdermöss

Det ställs ofta krav på att inspelningar av fladdermusaktivitet inför och vid etablerade vindparker ska genomföras. Det kan tyckas rimligt att anta att en högre aktivitet medför en ökad dödlighet. Det framfördes också i Vindvals rapport 7169 att det finns ett samband. Med ytterligare data insamlade under 2024 har underlaget för analysen av aktivitet och dödlighet blivit bättre.

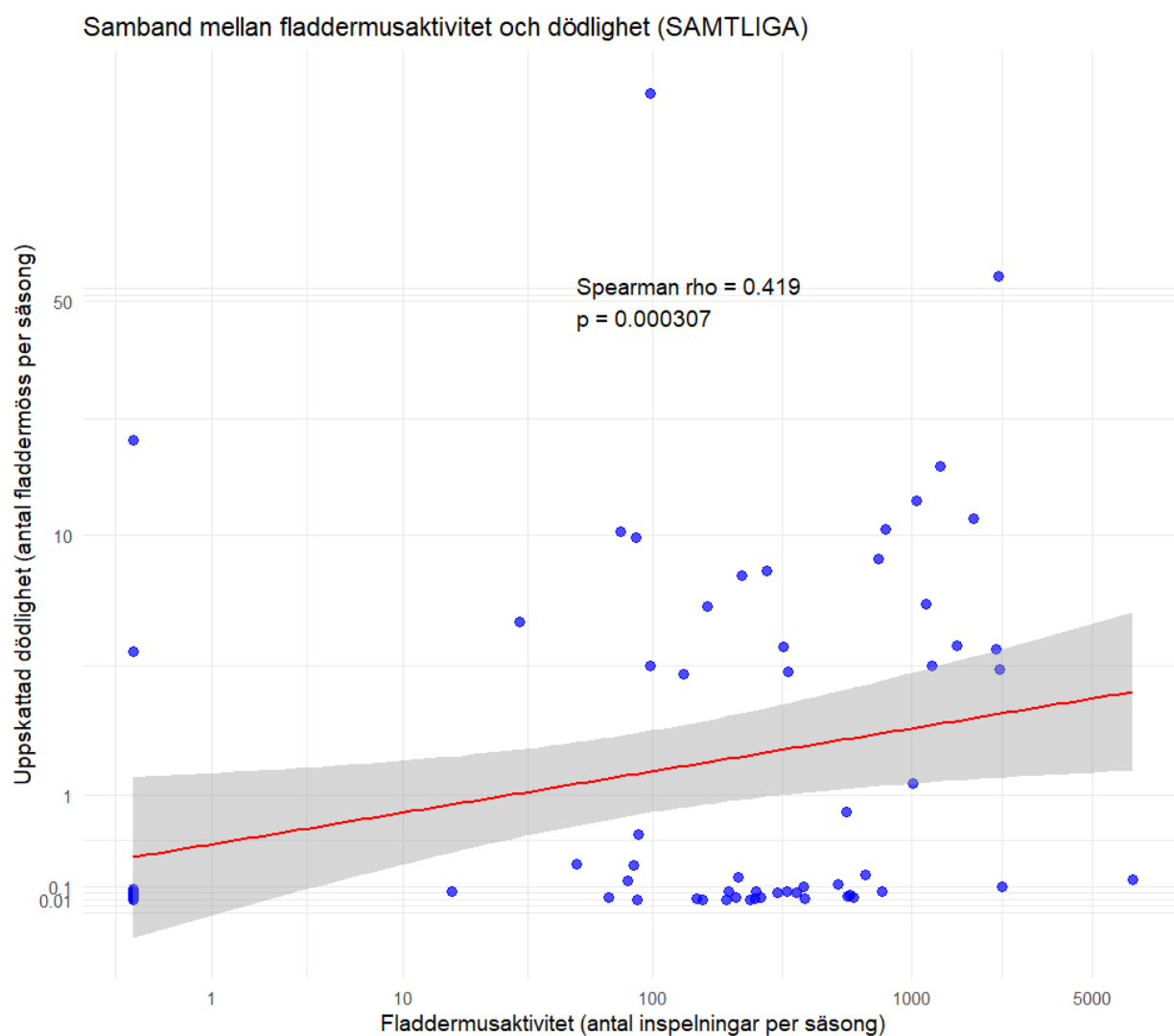
I; Samtliga artgrupper sammanslagna

Den uppskattade dödligheten per vindkraftverk jämfördes med aktiviteten av fladdermöss (baserat på registreringar av ekolokaliseringar) från samma vindkraftverk och säsong. Totalt ingick 20 vindparker och 39 verksplatser i studien 2021–2024, vilka övervakades från början av juli till minst under slutet av september.

Med samtliga artgrupper sammanslagna, så fanns en statistiskt säkerställd korrelation mellan högre aktivitet och fler döda fladdermöss om vi även tog hänsyn till andel öppen grusmark, höjd över havet, rotordiameter, region, årtal samt BatMode-reglering; se figur 2. Korrelationen mellan aktivitet och dödlighet hos alla arter sammanslagna kvarstod dock även om vi inte tog hänsyn till miljövariablerna; figur 3.



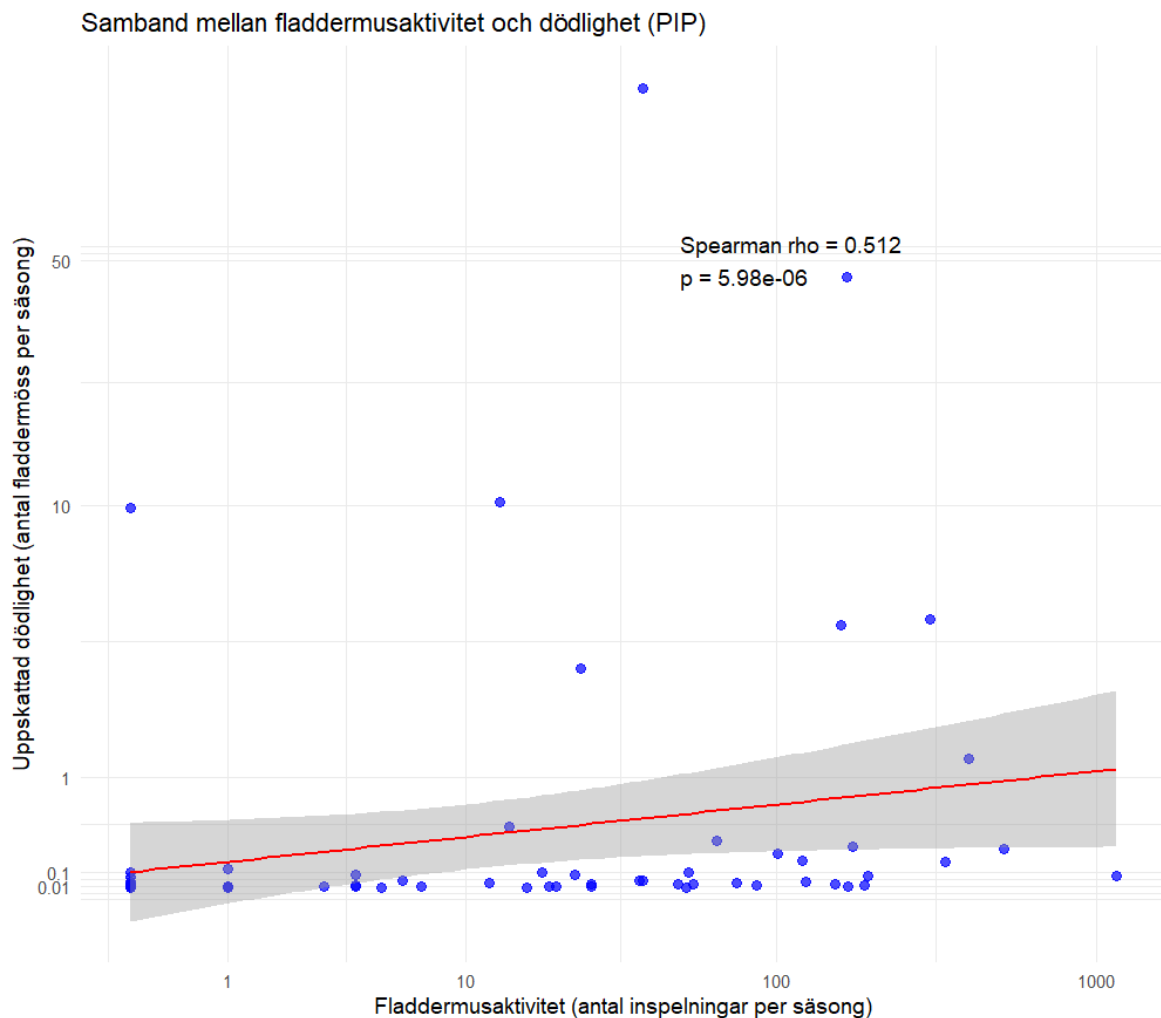
Figur 2. Uppskattad dödlighet på y-axeln i förhållande till aktivitet (inspelningar) på x-axeln avseende samtliga artgrupper sammanslagna, med ett 95-procentigt konfidensintervall, om övriga variabler hålls konstanta (andel öppen grusmark, höjd över havet, rotordiameter, region, årtal samt BatMode-reglering). Denna korrelation är signifikant.



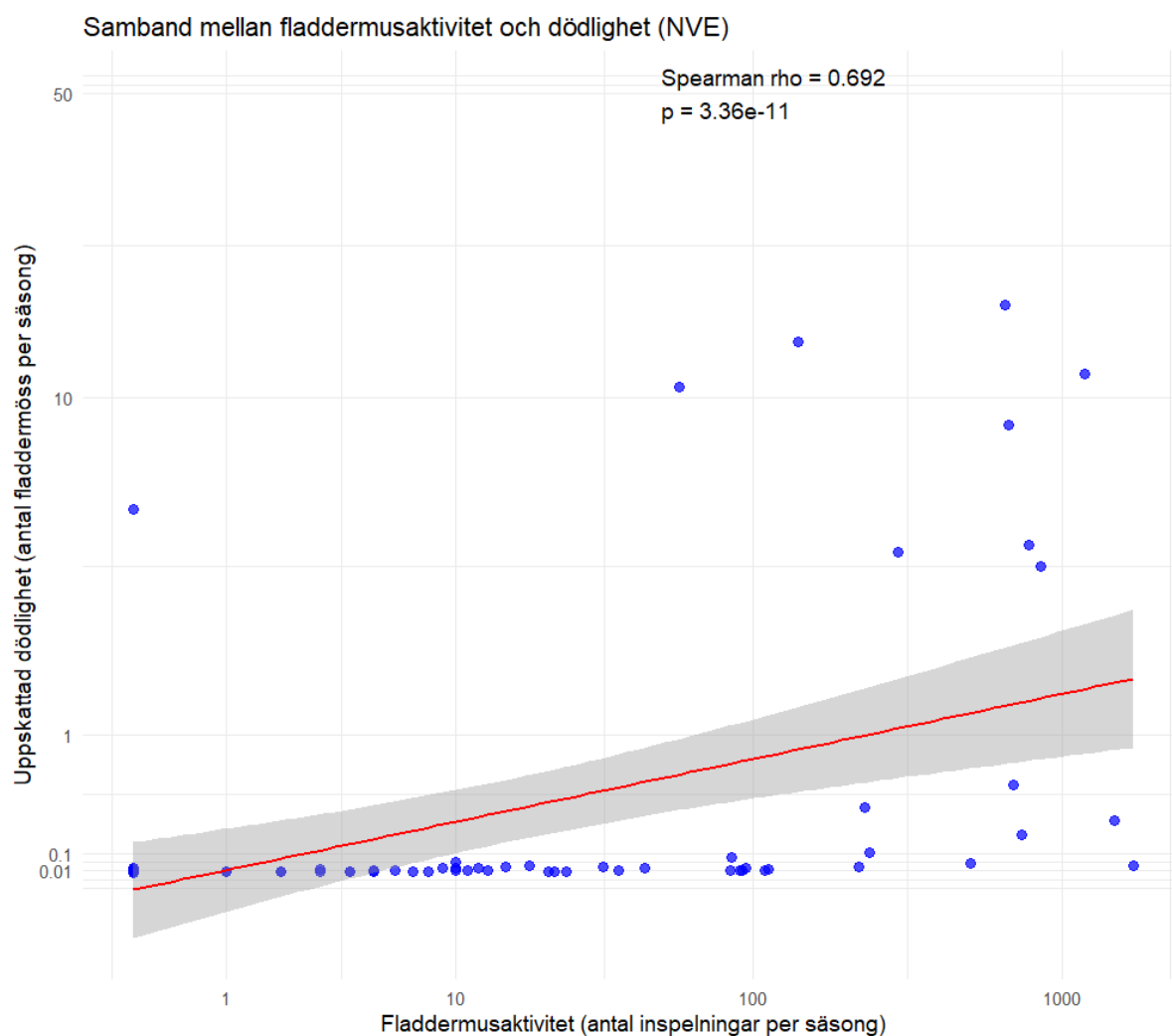
Figur 3. En korrelationsanalys och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan aktivitet hos samtliga artgrupper fladdermöss sammanslagna på x-axeln och uppskattad dödlighet på y-axeln vid undersökta vindkraftsverk (2021–2024), visar på en signifikant korrelation mellan aktivitet och dödlighet.

II & III; Artgrupperna NVE samt PIP

Det fanns inget samband mellan ökad aktivitet och ökad dödlighet hos artgrupperna PIP eller NVE om vi tog hänsyn till andel öppen grusmark, altitud, rotordiameter, region, årtal samt BatMode-reglering. Utan hänsyn tagen till dessa miljövariabler så fanns en statistiskt säkerställd korrelation för artgruppen PIP mellan ökad aktivitet och dödlighet, se figur 4. Likaså så fanns en statistiskt säkerställd korrelation för artgruppen NVE mellan ökad aktivitet och dödlighet (utan hänsyn till miljövariablerna), se figur 5.



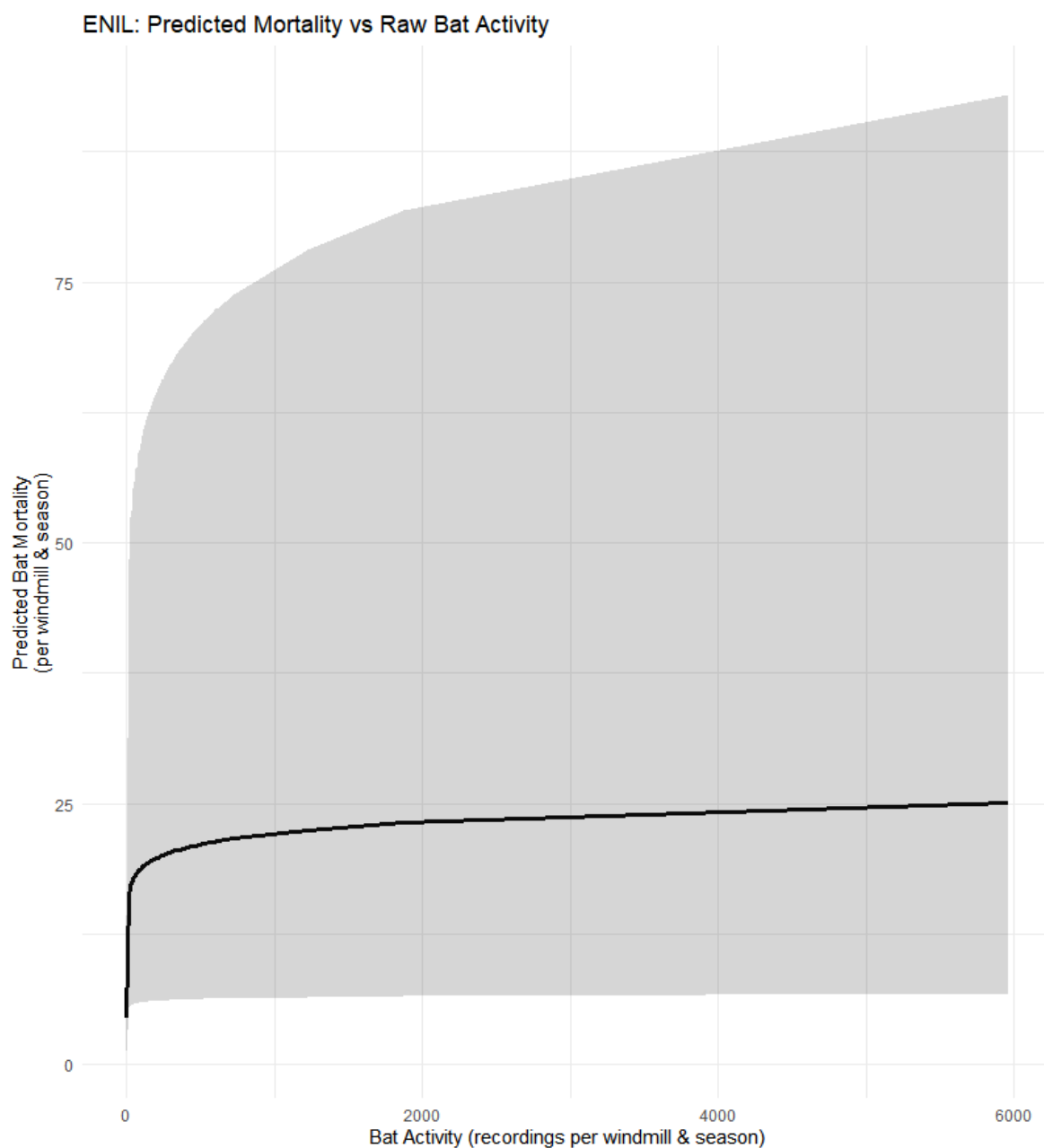
Figur 4. En korrelationsanalys och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan aktivitet på x-axeln och uppskattad dödlighet på y-axeln vid samma vindkraftsverk för artgruppen PIP (2021–2024), visar på en signifikant korrelation mellan aktivitet och dödlighet.



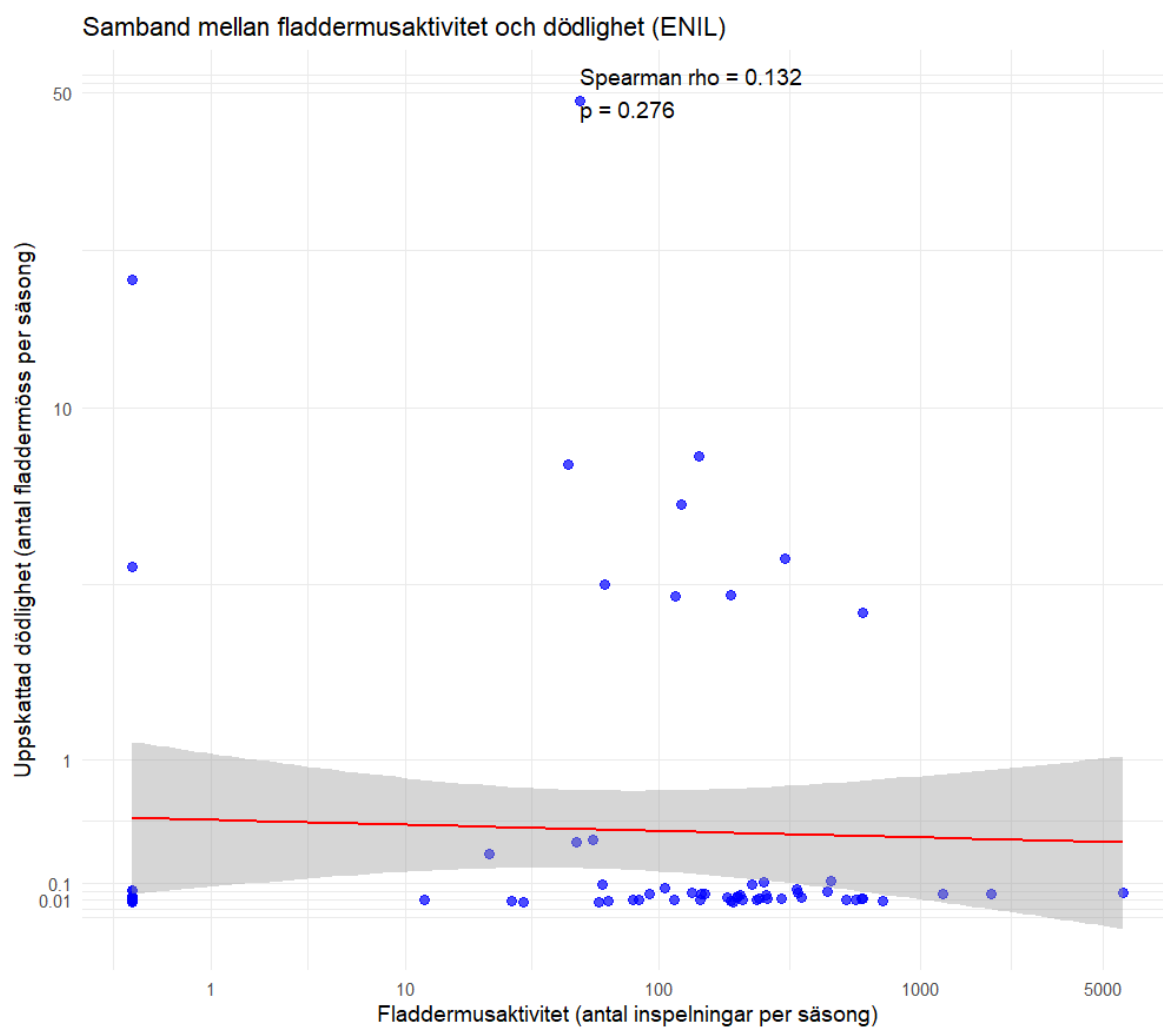
Figur 5. En korrelationsanalys och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan aktivitet på x-axeln och uppskattad dödlighet på y-axeln vid samma vindkraftsverk för artgruppen NVE (2021–2024), visar på en signifikant korrelation mellan aktivitet och dödlighet.

IV; Artgruppen ENIL

För endast artgruppen ENIL, fanns en statistiskt säkerställd korrelation mellan högre aktivitet och fler döda fladdermöss, om vi även tog hänsyn till andel öppen grusmark, höjd över havet, rotordiameter, region, årtal samt BatMode-reglering; se figur 6. Men om vi endast jämförde korrelation mellan aktivitet och dödlighet hos artgruppen ENIL, så fanns inget samband: figur 7.



Figur 6. Uppskattad dödlighet på y-axeln i förhållande till aktivitet (inspelningar) på x-axeln avseende endast artgruppen ENIL, med ett 95-procentigt konfidensintervall, om övriga variabler hålls konstanta (altitud, rotordiameter, region, årtal samt BatMode-reglering). Korrelationen är signifikant.



Figur 7. En korrelationsanalys och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan aktivitet på x-axeln och uppskattad dödlighet på y-axeln vid samma vindkraftverk för artgruppen ENIL (2021–2024). Korrelationen är inte signifikant.

5. Diskussion

I Vindvals rapport 7169 som sammanställde resultat av studien som pågick mellan 2021 och 2023 var ett tydligt resultat att i stora delar av de skogsmiljöer som undersöktes var dödlighet av fladdermöss låg, eller nästintill obefintlig. Skåne, Blekinge och Kalmar län (region 1 i rapporten) stack ut med en ungefärlig tiofaldigt högre dödlighet i jämförelse med andra regioner i landet. I Hallands län (region 2 i rapporten) var dödlighet av fladdermöss vid vindkraftverk både med och utan driftreglering för fladdermöss (BatMode) på en låg nivå i linje med inspelningsdata. Undersökningen 2024 som begränsades till region 1 och 2, med flera vindparker som inte ingick i studien 2021–2023, förstärkte tidigare resultat. I rapport 7169 beräknades medianvärdet för dödlighet av fladdermöss vid vindkraftverk i region 1 till cirka 6 individer per verk och år (15 juli-15 september) vid oreglerade verk. Dödlighet av fladdermöss i region 1 vid oreglerade verk var i genomsnitt på liknande nivå vid verken som ingick i studien 2024. Av de tio vindkraftverk 2024 med högst uppskattad dödlighet hade åtta verk en totalhöjd av 200 meter. Den här studien kunde dock inte ge något entydigt svar på om dödlighet påverkas av verkens rotordiameter. Två publicerade studier har inte kunnat påvisa en konsekvent högre dödlighet av fladdermöss med större vindkraftverk i Nordamerika, men det är en faktor att undersöka närmare framöver (Anderson m.fl. 2022, Garvin m.fl. 2024).

Artidentifieringen av expertis från Naturhistoriska riksmuseet bekräftade våra bestämningar i det här projektet. Med undantag av nordfladdermus som är rödlistad som *Nära hotad* bedöms övriga arter, vilka förekommer bland kadaverfynden vid vindkraftverk i de skogsmiljöer som undersökts och riskerar att drabbas negativt av vindkraft, att ha livskraftiga populationer. I Vindvals rapport 6740 som publicerades år 2017 presenterades större brunfladdermus och gråskimlig fladdermus som de mest hänsynskrävande arterna vid vindkraftverk. Ett frågetecken fanns kring nordfladdermus i norra delen av landet, vilket poängterades i Vindvalsrapport 6827 (2018). I den tidigare rapporten listades även dvärg-, syd- och trollpipistrell samt mindre brunfladdermus och sydflassermus som högriskarter. I rapport 7169 för åren 2021–2023 konstaterades att gråskimlig fladdermus sällan förolyckades vid de vindkraftverk som ingick i skogsmiljöer. Studien från 2024 bekräftar denna slutsats och vår bedömning är att arten inte är riskutsatt vid vindkraftverk, åtminstone inte i skogsmiljöer. Sydpipistrell, mindre brunfladdermus och sydflassermus är arter som på kontinenten är riskutsatta för vindkraft, men de två senare har ännu inte påträffats förolyckade under vindkraftverk i Sverige. Den rapporterade förekomsten av dessa sydliga arter baseras i Sverige fortfarande endast på ljudinspelningar. Om dessa arter verkligen förekommer i landet är det sannolikt sporadiskt och utgör inte några arter som är särskilt riskutsatta i samband med vindkraft i svenska skogsmiljöer. När det gäller sydpipistrell är den arten svår att skilja från dvärgpipistrell när kadaver analyseras och det kan inte uteslutas att någon individ missats i samband med artbestämning av pipistreller. Trollpipistrell är av allt att döma inte riskutsatt i de skogsmiljöer som undersökts i Sverige, helt enkelt för att artens förekomst är sporadisk och fåtalig här.

Vår tolkning av resultat från analysen av driftreglering och dödlighet är att tyngdpunkt ska läggas på resultatet med alla artgrupper sammanslagna, det vill säga på hela materialet oavsett art för perioden 2021–2024. Då är dödligheten cirka 62% lägre vid

vindkraftverk med driftreglering jämfört med oreglerade verk (95-procentigt konfidsensintervall: 36–77 %). Analyser kunde också göras för två artgrupper samt för nordfladdermus. För artgruppen NVE (nästan enbart större brunfladdermus) fanns en statistiskt säkerställd 64% lägre dödlighet vid verk med driftreglering. För artgruppen PIP (pipistreller) och för ENIL (nordfladdermus) indikerar analyserna att driftreglering också medför en lägre dödlighet hos dessa arter, med i storleksordningen 33 respektive 35%.

Större brunfladdermus är en migrerande art som riskerar att påverkas negativt av oreglerade vindkraftverk där den förekommer i både Sverige och i andra länder dit den migrerar och riskerar att slås ihjäl vid vindkraftverk. Undersökningar i Tyskland och Frankrike indikerar att cirka 28 % av förolyckade större brunfladdermöss vid vindkraftverk i dessa länder utgörs av individer från populationer i nordöstra Europa, sannolikt också från Sverige (Lehnert m.fl. 2014, Merlet m.fl. 2025). Om de individer som förolyckas vid vindkraftverk i Sverige till viss del har nationellt ursprung eller huvudsakligen är individer från andra länders migrerande populationer är okänt. Resultaten av inspelningsövervakning och eftersök i den här studien visar att arten är riskutsatt där den förekommer i hög omfattning. En reglering av verk bör därför användas i alla miljöer där denna art förekommer frekvent och inte enbart i skogsmiljöer i Kalmar, Blekinge och Skåne län som ingått i studien. Andra områden som inte ingått i studien där arten kan förekomma i högt antal omfattar sannolikt östra Östergötland samt i området runt Mälaren och Hjälmaren. En driftreglering bör även tillämpas i områden såsom öppen jordbruksmark i de fall arten förekommer med en hög aktivitet. Öppen jordbruksmark har tidigare inte ansetts som högriskområden för fladdermöss i samband med vindkraft.

När det gäller den registrerade aktiviteten vid vindkraftverk har allt i denna studie registrerats i marknivå. Anledningen är att vi redovisat en korrelation mellan aktivitet i marknivå och nacellhöjd i den tidigare rapporten från 2024 (rapport 7169). Tidigare Vindvalsrapporter har legat till grund för denna analys (rapport 6740 från 2017 och rapport 6827 från 2018). Vidare har dessa resultat visat att aktiviteten alltid var högre i marknivå än i nacellnivå hos de arter som är riskutsatta i samband med vindkraft. Baserat på resultaten från studierna 2021–2023 och 2024 konstaterades en stark korrelation mellan aktivitet och dödlighet och då främst när det gäller större brunfladdermus. Fördelen med dessa studier är att samma utrustning och inställningar har använts vid samtliga undersökta verksplatser under alla åren 2021–2024, vilket gör resultaten jämförbara. En relevant fråga är vad som menas med en hög aktivitet. När det gäller hur hög aktiviteten är menar vi att det viktigaste är hur lång period som övervakas vid vindparker och vindkraftverk. Resultaten i studierna är baserad på resultaten under perioden början av juli till minst september månad ut. När det gäller NVE (främst större brunfladdermus) är den gemensamma faktorn att det oftast är denna art som dominerar aktiviteten inom respektive vindpark och verksplatser där dödligheten är hög samt att aktiviteten främst förekommer från slutet av juli till början av september. Det rör sig då om flera tusentals inspelningar och en medelaktivitet under hela perioden på över ett 30-tal inspelningar per natt. Det går inte att säga att ett visst antal inspelningar innebär ett visst antal kadaver men våra resultat visar att en hög aktivitet av större brunfladdermus mätt under hela säsongen (juli-september) vid vindparker visar på en

klart ökad dödlighet hos arten koncentrerad till perioden från slutet av juli till början av september.

Gällande nordfladdermus påminner vi om Vindvals rapport 6827 där aktivitetsundersökningar under juli-oktober visade på en sporadisk och låg aktivitet av nordfladdermus vid vindkraftverk i norra Sveriges inland. Aktiviteten var dessutom nästan uteslutande i marknivå och inte i navhöjd. Resultat från andra kortare inventeringar i denna region stöder våra resultat. Nordfladdermus är Sveriges mest utbredda fladdermusart och förekommer i alla typer av skogsmiljö. Arten har uppvisat indikationer på regionala minskningar i landet. Vår bedömning utifrån den här studien är att dödligheten vid vindkraftverk är så pass liten, slumpmässig och inte beroende av driftreglering att vi inte ser någon risk för en populationspåverkan. Arten bör därför inte hanteras som riskutsatt i vindkraftssammanhang. Den största påverkan på denna art i framför allt norra Sverige beror främst på hur skogsbruket bedrivs och hur stor andel av naturskogsliknande bestånd som sparas (Vindvals rapport 6827).

Resultatet för pipistreller, där i princip alla fynd utgjordes av dvärgpipistrell, visar på en stor variation i den beräknade dödligheten vid driftreglering och vid oreglerade verk. Tendensen är dock tydlig att dödligheten var lägre vid verk med driftreglering, det finns dock troligen andra variabler än vindstyrka och temperatur som förklarar artens beteende vid vindkraftverk. Aktivitetsdata indikerar att dvärgpipistrellens aktivitet exempelvis inte ökar vid vindkraftverk med högre temperatur till skillnad från större brunfladdermus.

Dvärgpipistrell förekommer mycket talrikt i södra Sverige och det förhållandevis höga antalet kadaverfynd under 2024 gjordes framför allt i en vindpark med oreglerade verk. Bortsett från denna vindpark var dödligheten för dvärgpipistrell på en nivå som enligt vår bedömning inte utgör en påtaglig risk för populationspåverkan.

6. Slutsats

Sammanfattningsvis visar undersökningen att driftreglering reducerar dödligheten av fladdermöss vid vindkraftverk i skogsmiljöer i Sverige. Vår rekommendation är att driftreglering används i vindparker i skogsmiljöer i Skåne, Blekinge och Kalmar län. Detta främst för att skydda större brunfladdermus. Denna art förekommer troligen talrikt i andra delar av skogslandskap i Sverige men sannolikt framför allt i sydöstra delarna av landet och kring Mälaren och Hjälmaren. Arten förekommer även i jordbrukslandskap, framför allt i anslutning till stora sjöar. Vi utesluter inte att driftreglering bör tillämpas som skyddsåtgärd för större brunfladdermus i vindparker där arten förekommer i hög omfattning även utanför region 1.

Vår rekommendation är att driftreglering bör gälla mellan skymning och gryning under perioden 15 juli-15 september vid vindstyrkor lägre än 6 m/s. I andra länder pågår undersökningar av hur driftreglering för skydd av fladdermöss kan förfinas med hjälp av

tekniska hjälpmedel, så kallad *smart curtailment*, och det pågår en utveckling av verktyg som kan medföra ett bättre skydd för fladdermöss med lägre dödlighet samtidigt som det kan ge lägre produktionsförlust för operatörer av vindparker. När tekniken är mer utvecklad är rekommendationen att den tillämpas även i Sverige.

7. Referenser

- Akaike H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. *Proceeding Second Int. Symposium Inf. Theory Budapest Hungary*, 267–281.
- Anderson A. M., Jardine C. B., Zimmerling J. R., Baerwald E. F., Davy C. M. (2022). Effects of turbine height and cut-in speed on bat and swallow fatalities at wind energy facilities. *FACETS Volume 7*, 2022. <https://doi.org/10.1139/facets-2022-0105>.
- Burnham K. P., Anderson D. R. (2002). *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. 2nd ed. (New York: Springer-Verlag).
- Dalthorp, D., Simonis, J., Huso, M., et al. (2018). GenEst statistical models – A generalized estimator of mortality. U.S. Geological Survey.
- Garvin J. C., Simonis J. L., Taylor J. L. (2024). Does size matter? Investigation of the effect of wind turbine size on bird and bat mortality. *Biological Conservation Volume 291*, March 2024, 110474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110474>.
- Hartig F (2024). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.7, <https://github.com/florianhartig/dharma>.
- Pettersson S., Elfström M., Eklöf J., Ottvall R. (2024). Vindkraft i skogsmiljö. Beräknad dödlighet hos fladdermöss och fåglar. Naturvårdsverket Rapport 7169.
- Plummer, M. (2003). JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling.
- Rydell J., Ottvall R., Pettersson S., Green M. (2017). Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss, uppdaterad syntesrapport. Naturvårdsverket Rapport 6740.
- Rydell J., Pettersson S., Green M. (2018). Nordfladdermus och barbastell Hänsyn vid etablering och drift av vindkraftverk. Naturvårdsverket Rapport 6827.
- R Core Team (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Bilaga 1.

Modellering vid vindkraftverk med observerade kadaverfynd (GenEst)

För att beräkna uppskattad dödlighet vid verk där kadaver hittats användes programmet GenEst (Dalthorp m.fl. 2018). GenEst estimerar dödlighet för en definierad period – här 90 dagar, vilket motsvarar en typisk fladdermussäsong. Beräkningarna baseras på kadaverfynd, sökintervall, sökeffektivitet samt kadaverbeständighet. Bootstrap-simulering (nsim = 10 000) tillämpades för att beräkna 95-procentiga konfidensintervall. Medianvärde och konfidensintervall för mortalitet per vindkraftverk och säsong (årtal) erhöles.

Kadaverbeständighet uppskattades genom experiment där kadaver placerades ut både på öppen grusmark och i slutna skogsmark invid vindkraftverk. Dessa övervakades med automatiska kameror för att fastställa hur länge kadaver fanns kvar innan de avlägsnades av asätare (såsom rov- och kråkfåglar, räv, grävling och mård). Kadaver som användes i experimenten bestod främst av fladdermöss som hittats vid tidigare eftersök.

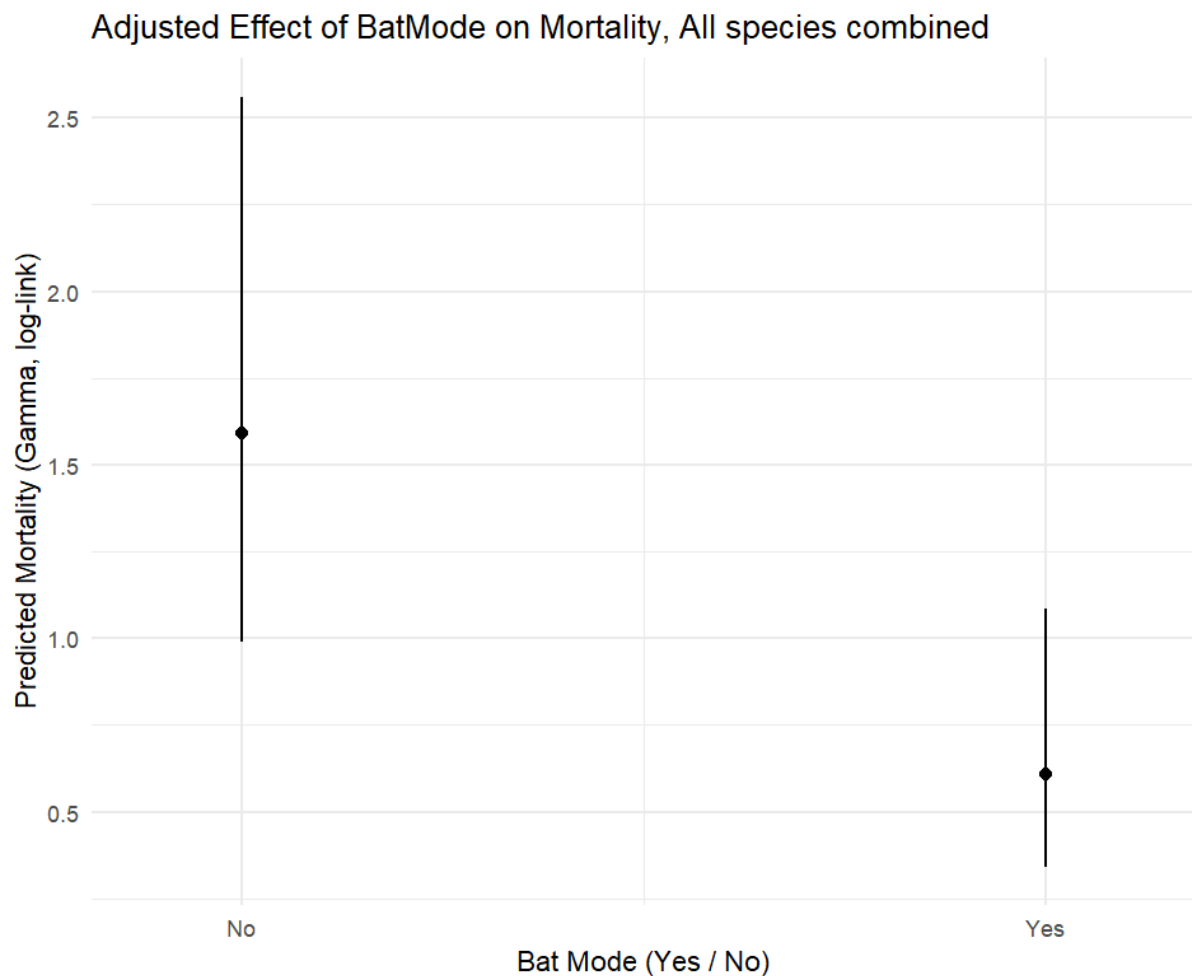
Modellering vindkraftverk utan kadaverfynd (Bayesiansk modellering via JAGS)

För vindkraftverk utan kadaverfynd användes Bayesiansk modellering i JAGS (Plummer 2003). Modellen vägde in faktorer som:

- Andel öppen grusplan vid verket – påverkar kvarhållning av kadaver och eventuellt aktivitet hos fladdermöss.
- Regionindelning – Sverige delades in i flera regioner. Region 1 hade alltid kadaverfynd, vilket gjorde det möjligt att definiera *priors* för dödlighet baserat på dessa data.
- Sökeffektivitet, sökintervall samt gjorda kadaverfynd samt referensytor (skogsområden inom 1 km från vindkraftsparker men utan vindkraftsverk).

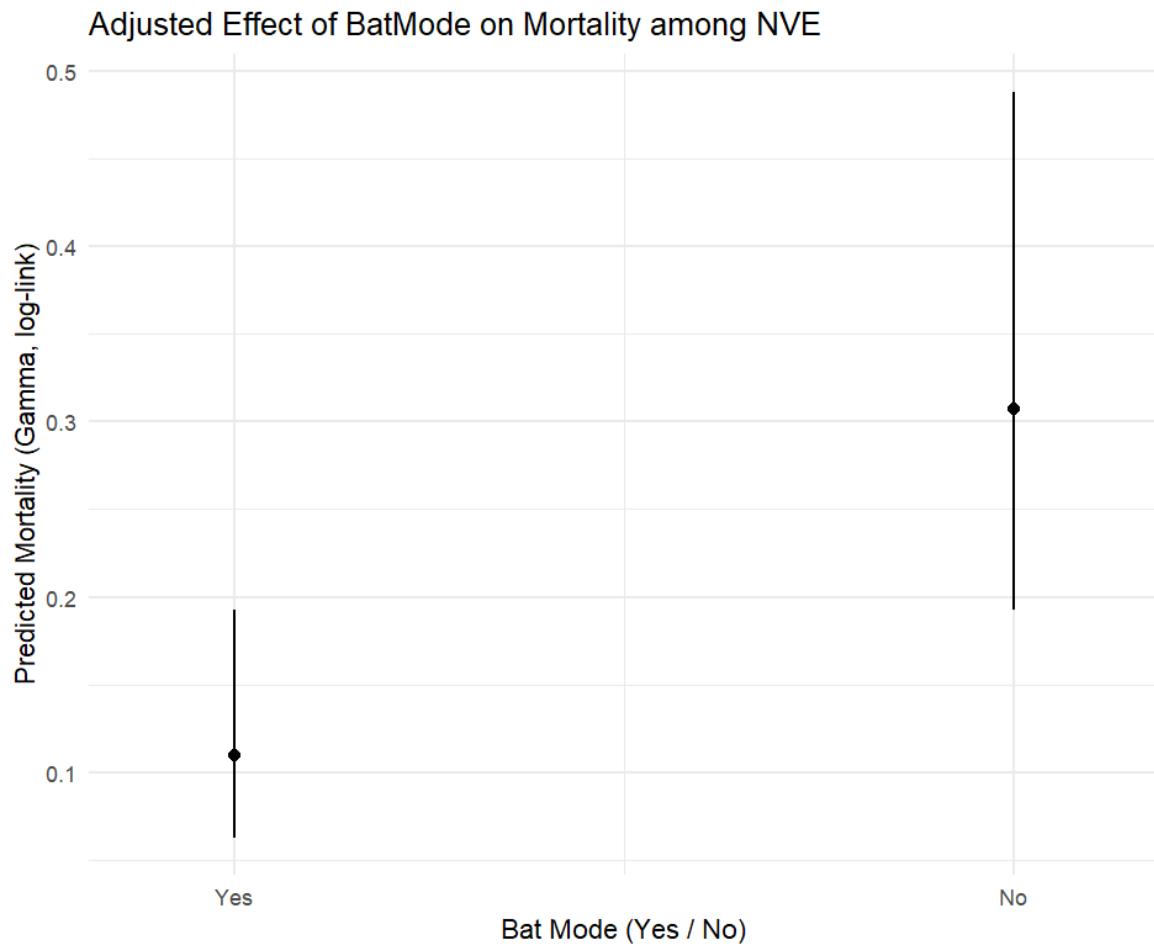
Modellen simulerade sannolik fördelning för dödlighet (som kallas posterior distribution) vid verk med och utan kadaverfynd, med osäkerhetsestimat (felmarginaler). Vid kontroll (validering) av modellerna så undersöktes bland annat att de olika simuleringarna sammanföll vid samma värden.

I; Samtliga artgrupper sammanslagna



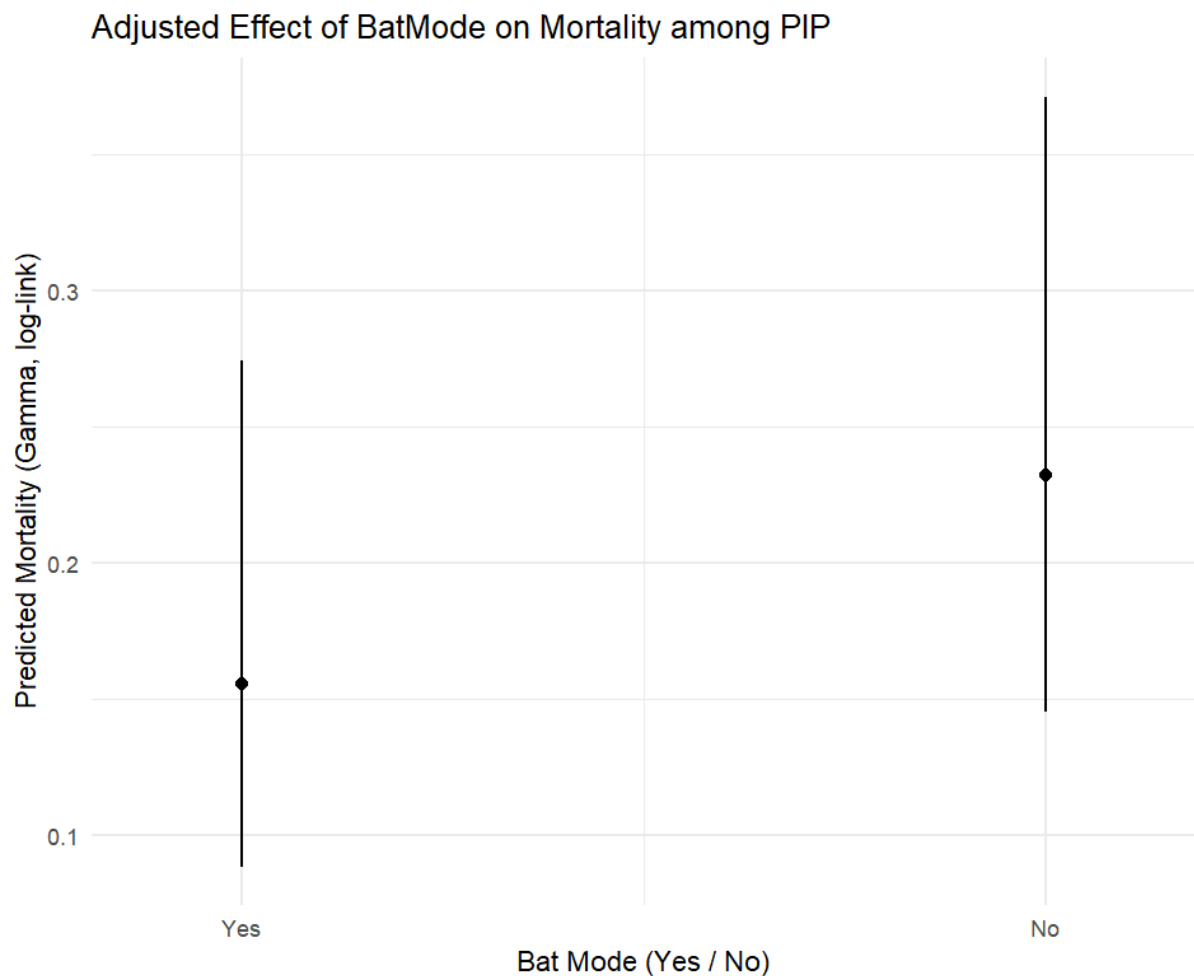
Figur 8. Jämförelse i dödlighet på y-axeln hos fladdermöss, samtliga artgrupper sammanslagna, mellan oreglerade vindkraftverk och reglerade verk (så kallad BatMode). Analysen tar hänsyn till olika regioner, årtal (2021–2024), samt olika miljövariabler och inkluderar ett 95-procentigt konfidensintervall. Resultaten visar att dödligheten är 62% lägre vid vindkraftsverk som har BatMode, jämfört med vid oreglerade verk (95-procentigt konfidensintervall: 36–77%).

II; Artgruppen NVE



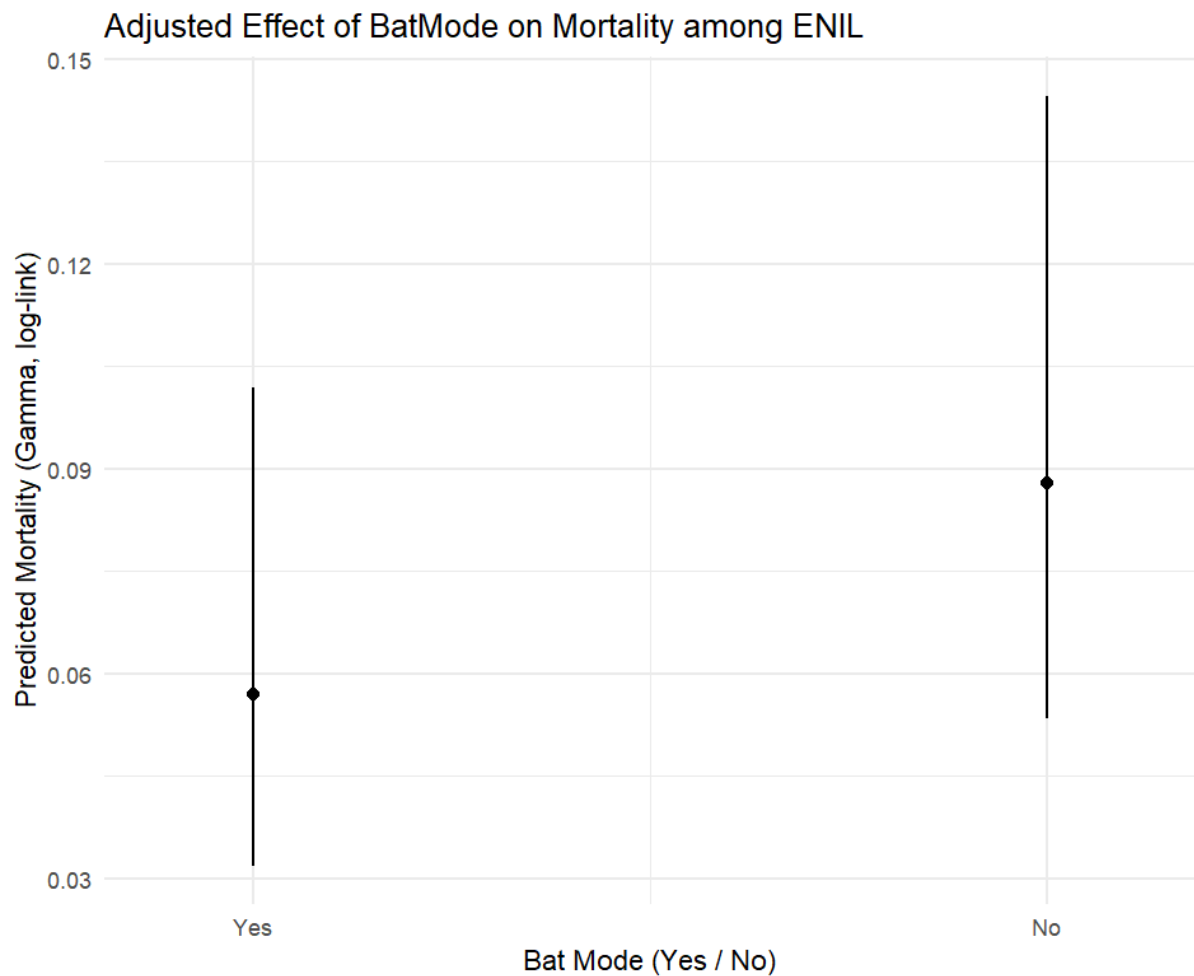
Figur 9. Jämförelse i dödlighet hos fladdermöss som tillhör artgruppen NVE mellan oreglerade vindkraftverk och reglerade verk (så kallad BatMode). Analysen tar hänsyn till olika regioner, årtal (2021–2024), samt olika miljövariabler och inkluderar ett 95-procentigt konfidsintervall. Resultaten visar att dödligheten är 64 % lägre vid vindkraftsverk som har BatMode, jämfört med vid oreglerade verk (95-procentigt konfidsintervall: 41–78 %).

III; Artgruppen PIP



Figur 10. Jämförelse i dödlighet på y-axeln hos fladdermöss som tillhör artgruppen PIP mellan oreglerade vindkraftverk och reglerade verk (så kallad BatMode). Analysen tar hänsyn till olika regioner, årtal (2021–2024), samt olika miljövariabler och inkluderar ett 95-procentigt konfidensintervall. Resultaten visar att dödligheten tenderar att vara 33 % lägre vid vindkraftverk med BatMode, jämfört med oreglerade verk, men det finns ingen statistiskt säkerställd skillnad.

IV; Artgruppen ENIL



Figur 11. Jämförelse i dödlighet på y-axeln hos fladdermöss som tillhör artgruppen ENIL mellan oreglerade vindkraftverk och reglerade verk (så kallad BatMode). Analysen tar hänsyn till olika regioner, årtal (2021–2024), samt olika miljövariabler och inkluderar ett 95-procentigt konfidensintervall. Resultaten visar att dödligheten tenderar att vara 35 % lägre vid vindkraftverk med BatMode, jämfört med oreglerade verk, men det finns ingen statistiskt säkerställd skillnad.