



Elbilers PWM-støj og flagermusenes biosonar - en overset miljøkonsekvens af fremtidens motorveje

Af Flemming Munk og Søren Vester

Baggrund

Elbiler fremhæves ofte som et "støjsvagt" alternativ til konventionelle køretøjer. Denne opfattelse bygger imidlertid primært på fraværet af motorstøj i det menneskeligt hørbare område. I praksis skaber elbilernes elektriske drivlinjer en anden form for støj – nemlig højfrekvent, ultrasonisk akustisk støj fra **inverterens pulsbredde-modulation (PWM)**.

Denne støj er sjældent hørbar for mennesker, men falder direkte i det frekvensområde, hvor flagermus navigerer, kommunikerer og finder føde. Da flagermus er fuldstændig afhængige af deres biosonar, vil denne nye form for akustisk forurening få betydelige konsekvenser for deres adfærd og økologi.

Ultralydsstøj fra elbilernes invertere kan maskere de ekkoer, som flagermus bruger til at lokalisere insekter og undgå forhindringer. Selv små ændringer i signal-støj-forholdet kan være afgørende for, om et ekko registreres, eller et bytte forbliver "usynligt". Samtidig kan forstyrrende lydmønstre i samme frekvensbånd ændre flagermusenes flyveruter, afskrække dem fra at passere ellers egnede korridorer eller forhindre dem i at udnytte vigtige fourageringsområder. Konsekvensen kan blive nedsat jagteffektivitet, desorientering og øget kollisionsrisiko [1].

Flagermus, som allerede er truede af habitatfragmentering, lysforurening og ændringer i fødegrundlaget, risikerer dermed at blive udsat for en ny antropogen stressfaktor[2] – direkte knyttet til elektrisk transportteknologi.

Konsekvenserne er ikke blot akustiske, men økologiske. Hvis flagermus systematisk mister adgang til føde eller forhindres i at krydse landskabet, kan det føre til energitab, lavere reproduktion og i sidste ende bestandsnedgang. For sjældne arter kan dette udgøre forskellen mellem overlevelse og lokal udryddelse.

Juridisk set er dette centralt: Ifølge EU's Habitatdirektiv (92/43/EØF, artikel 12) og den danske Naturbeskyttelseslov §29a må bilag IV-arter – herunder alle danske flagermus – ikke forstyrres på en måde, der kan true deres gunstige bevaringsstatus. En sandsynliggjort bestandsnedgang som følge af habitatfragmentering og akustisk forurening vil dermed være i direkte modstrid med både EU-retten og dansk lovgivning.

Formålet med denne artikel er at italesætte **en hidtil overset trussel mod Danmarks flagermus – nemlig den højfrekvente PWM-støj fra elbiler**. Når denne støjkilde kombineres med nye motorvejsprojekter som f.eks. Klode Mølle - Løvel motorvejen (Vest-motorvejen ved Viborg), som i forvejen fragmenterer levesteder og skaber

barrierer i landskabet, opstår en dobbelt belastning: Flagermusene mister både adgang til deres levesteder og forstyrres i deres navigation og fødesøgning. Denne kombination af fysisk habitatfragmentering og akustisk forurening udgør en reel risiko for bestandsnedgang. Derfor er det afgørende, at både transportteknologien og linjeføringen af nye motorveje vurderes i lyset af deres samlede effekt på flagermus og andre bilag IV-arter.

Teknisk baggrund: Bilernes PWM-teknologi

Elbilens motor drives af jævnstrøm fra batteriet, men motoren kræver et trefaset vekselstrømsfelt. Dette skabes af en **inverter**, som anvender **pulsbredde-modulation (PWM)** til at styre spænding og strøm med høj præcision.

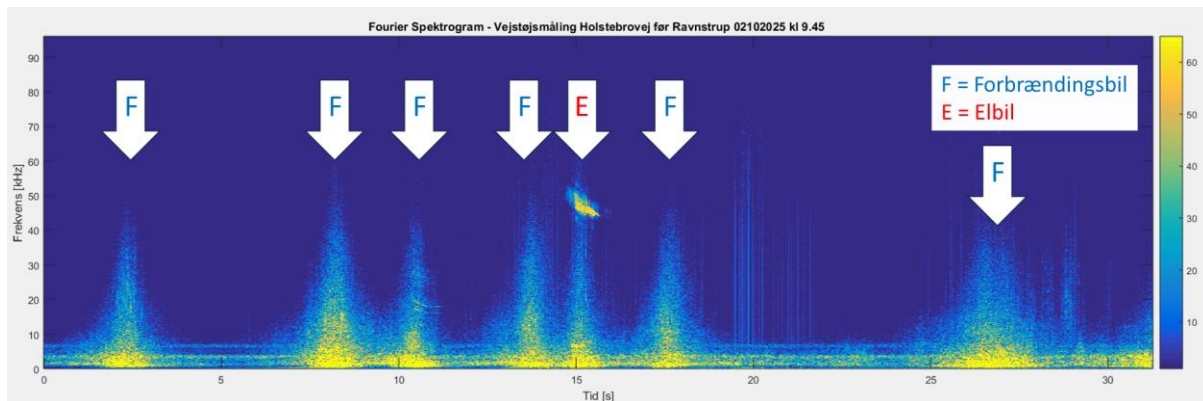
- **Princip:** PWM fungerer ved, at halvlederkomponenter (IGBT'er eller SiC-MOSFETs) tændes og slukkes tusindvis af gange i sekundet. Pulsernes bredde (duty cycle) bestemmer den gennemsnitlige spænding og strøm til motoren, og dermed hastigheden.
- **Switchingfrekvens:** Typisk 8–20 kHz i ældre systemer, 25–40 kHz i moderne SiC-baserede invertere.
- **Bivirkning:** Hvert skifte skaber harmoniske og elektromagnetiske impulser, som forplanter sig til motorens viklinger og konstruktion. Disse kan omsættes til akustisk vibration og dermed ultralyd.
- **Afhængighed af belastning:** PWM-støjen er ikke konstant, men varierer med acceleration, hastighed og drejningsmoment. Det betyder, at støjen er dynamisk og uforudsigelig – netop den type akustisk "forstyrrelse", som dyr har svært ved at tilpasse sig.
- **Frekvensindhold:** Udover grundfrekvensen udsendes overtoner og sidebånd, hvilket kan udvide spektrum fra 20 kHz til over 80 kHz.

Den højfrekvente støjemission fra PWM drevne elbiler kan nemt eftervises med følgende lille måleopstilling:



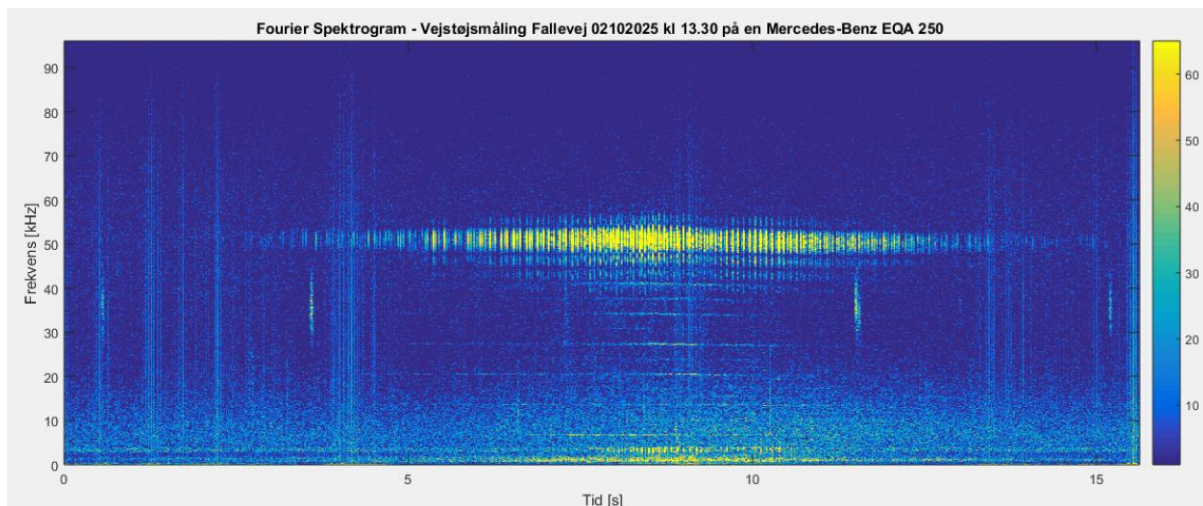
Figur 1. Optagelse af vejstøj med en bredbånds målemikrofon Earthworks M30 HIGH DEFINITION Microphone og en MultiTrack Field Recorder ZOOM F6 (ZOOM), opsat til 24bit linear mode, sample rate 192kHz.

Målingen foretages på Holstebrovej imellem Viborg og Ravnstrup over et tidsinterval på 30 sekunder. I dette interval passerer flere biler og lastbiler med en hastighed på ca. 80 km i timen. Optagelsen analyseres efterfølgende i computerprogrammet Matlab med funktionen *spektrogram* [3] som illustrerer, hvorledes frekvensindholdet ændrer sig over tid (samme princip som musiknoder):



Figur 2. Frekvensanalyse af vejstøjen på Holstebrovej ved Viborg. F markerer en forbrændingsbil og E markerer en elbil.

Af figur 2 fremgår det, at syv trafikanter passerer måleopstillingen. Det er tydeligt at skelne mellem de trafikanter, der kører i forbrændingsbiler og dem, der kører i elbiler. Trafikant nummer 5 identificeres som en elbil, idet køretøjet udsender en markant PWM-støj omkring 50 kHz - en WV ID jævnfør tilhørende video optagelse. Det fremgår desuden, at dækstøjen i området 0–10 kHz er den samme for alle syv trafikanter. Efterfølgende er der gennemført en særskilt støjmåling på en elbil ved lav hastighed.



Figur 3. Frekvensanalyse af vejstøjen på Fallevvej, Viborg på en Mercedes-Benz elbil.

Da bilens hastighed er under 30 km/t, er dækstøjen minimal. PWM-støjen derimod er uændret og fremstår med høj intensitet. Denne lave hastighed medfører samtidig en bedre tidsopløsning i målingen, hvilket gør de enkelte støjimpulser tydeligere.

Effekten af ultralyd på mennesker er ikke uskadelig – og blot fordi lyden ikke er hørbar, betyder det ikke, at den er ufarlig. Selvom det menneskelige øre normalt ikke opfatter frekvenser over ca. 20 kHz, kan kroppen stadig reagere på højfrekvent lyd via andre mekanismer. Tilstedeværelsen af ultralyd kan påvises ved anvendelse af et instrument - en Batdetektor eller Flagermus-detektor [4][5], som gør ikke-hørebar ultralyd hørbar for mennesker. Forskning har dokumenteret, at eksponering for ultralyd og meget højfrekvent lyd (f.eks. 10–40 kHz og derover) kan føre til subjektive symptomer såsom hovedpine, træthed, irritation, koncentrationsbesvær, svimmelhed og øresusen (tinnitus-lignende gener) [6].

Der er også indikationer på, at ultralyd kan påvirke kognitive funktioner og aktivere kontrolnetværk i hjernen, selv når lydniveauerne ligger under høregrænsen (dvs. usete for det bevidste øre). I en undersøgelse [7] fandt man, at når ultralyd blev udsendt uden for deltagernes hørelse (under tærsklen), blev der registreret aktivitet i hjernens frontale områder samt forskelle i reaktionstid, hvilket tyder på øget "kognitiv anstrengelse". Langtids-effekten af ultralydspåvirkning af førere af elbiler er stadig et uberørt forskningsområde.

Men effekten af PWM-baseret ultralyd på flagermus er alvorlig, da den maskerer deres biosonar og dermed truer deres levevis. Det belyses i næste afsnit.

Biologi: Flagermusenes økologi og sanser

Flagermus har udviklet et af de mest præcise sanseapparater i dyreriget – **biosonar**. De udsender korte ultralydspulser (20–120 kHz) og analyserer ekkoet for at skabe et tredimensionelt ”lydbillede” af omgivelserne.

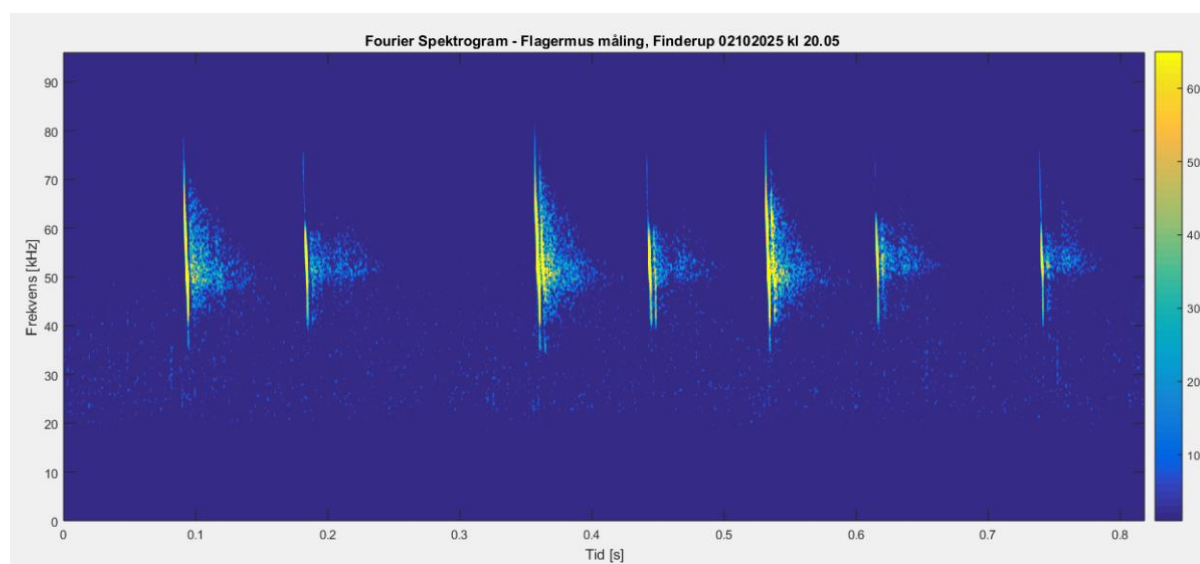
- **Navigation:** De kan opdage små insekter på få millimeters størrelse i mørke.
- **Føde:** Flagermus regulerer insektbestande og er dermed nøglearter i økosystemet.
- **Adfærd:** Mange arter følger lineære landskabselementer (hegn, vandløb, skovbryn) – ofte samme steder, hvor veje og motorveje etableres.
- **Sårbarhed:** Selv lav baggrundsstøj i arbejdsfrekvenserne reducere jagteffektiviteten, øge kollisionsrisikoen og skabe barriereeffekter i landskabet.

Danske flagermusarters frekvensområder

Art (dansk navn)	Latinsk navn	Frekvens interval	Kommentar
Brunflagermus	<i>Nyctalus noctula</i>	20–25 kHz	Flyver højt, overlapper lav PWM
Sydflagermus	<i>Eptesicus serotinus</i>	25–30 kHz	Hyppig nær huse og byer
Vandflagermus	<i>Myotis daubentonii</i>	35–45 kHz	Jager tæt over vandflader
Dværgflagermus	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	45–50 kHz	Almindelig, tæt på mennesker
Troldflagermus	<i>Pipistrellus nathusii</i>	40–45 kHz	Trækflagermus, følger veje
Damflagermus	<i>Myotis dasycneme</i>	70–85 kHz	Sjælden og Natura 2000-art
Skægflagermus	<i>Myotis mystacinus</i>	35–50 kHz	Tæt vegetation
Langøret flagermus	<i>Plecotus auritus</i>	25–45 kHz	Meget følsom for baggrundsstøj

Tabel 1. Biosonar frekvensområder for danske flagermus

Følgende ses det spektrale ”fingeraftryk” for en dansk dværgflagermus:



Figur 4. Frekvensanalyse af en flagermus sekvens af kald - her en dværgflagermus i FINDERUP, oktober 2025.

Som det fremgår af figur 3 og figur 4, ligger elbilers PWM-støj direkte i de samme frekvensbånd, som anvendes af dværgflagermusen og flertallet af de danske arter, jævnfør tabel 1.

Økologiske konsekvenser ved PWM-støj er bl.a. :

1. **Navigation og jagt:** Maskering af ekkoer i jagtfrekvenser → færre fangede insekter.
2. **Kollisionsrisiko:** Forstyrret biosonar øger risiko for sammenstød med biler og strukturer.
3. **Habitatfragmentering:** Motorveje kan fungere som akustiske barrierer, hvor flagermus ikke tør krydse.
4. **Populationseffekter:** Tab af fødegrundlag og levesteder kan reducere bestande over tid.

Juridisk beskyttelse af flagermus

EU-ret: Habitatdirektivet

Flagermus er omfattet af [Habitatdirektivets bilag IV \(92/43/EØF\)](#) og dermed underlagt streng beskyttelse.

Artikel 12, stk. 1 (Habitatdirektivet 92/43/EØF): Medlemsstaterne skal indføre et strengt beskyttelsessystem for de arter af dyr, der er opført i bilag IV, litra a), inden for deres naturlige udbredelsesområde, som forbyder:

- (a) enhver form for forsætlig fangst eller drab af disse arter i naturen,
- (b) forsætlig forstyrrelse af disse arter, især i forbindelse med reproduktion, opvækst, overvintring og migration,
- (c) forsætlig ødelæggelse eller indsamling af æg i naturen,
- (d) beskadigelse eller ødelæggelse af yngle- eller rasteområder.

Relevansen er klar: Når PWM-støj fra elbiler forstyrrer flagermusenes navigation, jagt eller yngleområder, udgør dette en **ulovlig forstyrrelse** i henhold til EU-retten i særdeleshed, når påvirkningen er kendt og bevidst.

Dansk ret: Naturbeskyttelsesloven

I Danmark er direktivet implementeret gennem bl.a. [Naturbeskyttelsesloven § 29a](#), som fastslår:

- Det er forbudt at beskadige eller ødelægge yngle- og rasteområder for arter på bilag IV.
- Forsætlig forstyrrelse af arterne er forbudt, uanset om det sker direkte eller indirekte.

Miljøkonsekvensvurdering (VVM)

Alle større anlægsprojekter er underlagt VVM-loven, som kræver, at konsekvenser for bilag IV-arter skal indgå i vurderingen. Hvis ultralydsstøj fra elbiler ikke vurderes, er VVM'en mangelfuld.

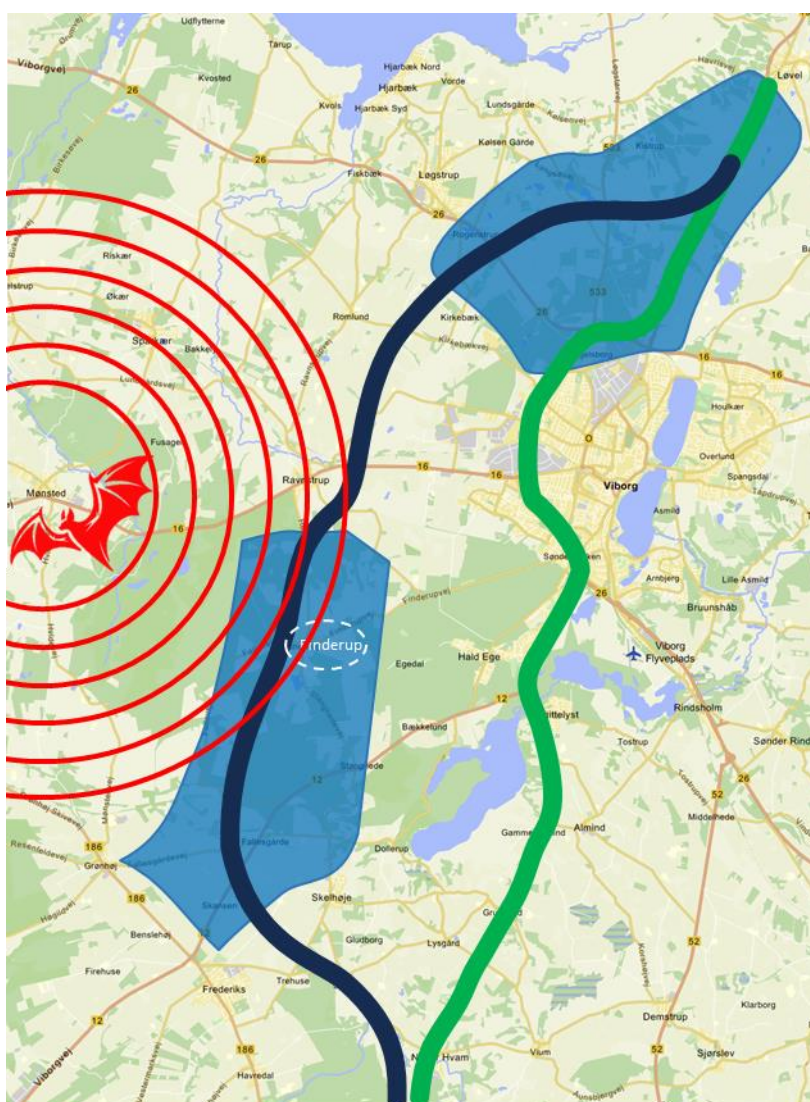
Viden forpligter - Vest motorvej

Vi ved i dag, at elbilers PWM-støj falder i samme frekvensområde som flagermusenes biosonar, og at selv lave støjniveauer kan forringe deres evne til at navigere, finde føde og krydse landskabet. Denne viden er ikke blot biologisk interessant – den er juridisk forpligtende.

Ifølge Habitatdirektivet (92/43/EØF, artikel 12) og den danske Naturbeskyttelseslov §29a må flagermus ikke forstyrres eller miste adgang til deres yngle- og rasteområder. Det betyder, at infrastrukturprojekter som Klode Mølle-Løvel Motorvejen (Vest-motorvejen) skal linjeføres på en måde, hvor flagermusene ikke påvirkes negativt.

Når myndighederne er bekendt med problemstillingen, er de efter både EU-ret (Habitatdirektivet 92/43/EØF, art. 12) og dansk ret (Naturbeskyttelsesloven § 29a) forpligtede til at handle i overensstemmelse med forsigtighedsprincippet. At ignorere den dokumenterede overlapning mellem elbilers højfrekvente PWM-støj og flagermusenes sanseområde vil være i strid med både videnskabelig viden og gældende lovgivning.

Viden medfører pligt til handling. På baggrund af de foreliggende analyser, målinger, forskning på området og det klare lovgrundlag er det ikke foreneligt med forsigtighedsprincippet at linjeføre firesporet motorvej med 130 km/t tæt ved **et af Nordeuropas største overvintringssteder for flagermus - Mønsted kalkgruber:**



Figur 5. Linjeføring af Vest-motorvejen tæt ved både Mønsted Kalkgruber og Daugbjerg kalkgruber.

Både Mønsted og Daugbjerg Kalkgruber rummer nogle af Nordeuropas vigtigste overvintringslokaliteter for flagermus - i alt ca 30.000 flagermus fordelt på 5 til 7 arter. Over 80–90 % af alle flagermusene er vandflagermus og damflagermus, som begge er EU-beskyttede arter efter Habitatdirektivets bilag IV.

Flagermusbestanden i Mønsted bliver konstant overvåget af Aarhus Universitet [8-10] [online](#). I sommerhalvåret trækker mange flagermus ud i Finderup Øvelsesterræn [11-13] - et fredet skovområde, som ligger imellem Mønsted og linjeføringen for Vest-motorvejen. Miljøstyrelsen har lavet flere publikationer om beskyttelse og pleje af skovområder for flagermus [14-15].

Vejdirektoratet og NIRAS har også undersøgt forekomsten af flagermus langs linjeføringen af Vest-motorvejen og fundet ["relativ stor flyveaktivitet af flagermus"](#). Ligeledes er [57 lokaliteter](#) blevet besigtiget for at kortlægge arealernes potentiale som levested for flagermus. Her ville det dog have været betryggende, hvis disse undersøgelser var udført med inddragelse af Aarhus Universitet og Syddansk Universitet (tidligere Odense Universitet, biologisk institut ved Professor Annemarie Surlykke), da disse institutioner er nationale videnscentre for flagermus.

Fremtidens trafikanter vil være el-drevne køretøjer og disse skal på en motorvej akustisk betragtes som en ultralyds-linjekilde – ikke en punktkilde, idet de udsender kontinuerlig højfrekvent PWM-støj langs hele vejens forløb. Denne støj vil maskere de svage ekkoer, som flagermus er afhængige af, og dermed effektivt "blinde" deres biosonar over hele motorvejens udstrækning.

En Vest-motorvej ved Viborg vil derfor udgøre en dødsfælde for flagermus, da de ikke alene mister evnen til at navigere sikkert, men også risikerer kollisionsulykker, tab af fourageringsområder og afskæring fra vigtige flyvekorridorer. Over tid kan dette medføre lokal bestandsnedgang og i værste fald udryddelse af sårbare arter i områder tæt på motorvejen.

Juridisk kan en motorvej, der fungerer som en sådan akustisk barriere, sidestilles med en beskadigelse eller ødelæggelse af yngle- og rasteområder, hvilket er forbudt ifølge Habitatdirektivet (92/43/EØF, art. 12, stk. 1, litra d) samt den danske Naturbeskyttelseslov § 29a. Dermed vil en linjeføring af en motorvej gennem flagermusfølsomme områder være i direkte modstrid med både EU-retten og national lovgivning.

Når en motorvej reelt fungerer som en konstant ultralydsbarriere, kan den juridisk betragtes som en forringelse af levested – hvilket myndighederne er forpligtet til at undgå i henhold til gældende lovgivning og forsigtighedsprincippet.

Målingen på figur 1 og figur 2 blev udført på vejstrækning, som er fartbegrænset til 80 km/t. Men Vest-motorvejen er en 130 km/t strækning, hvor ultralyds lydtryksniveauet bliver væsentligt højere end illustreret i figur 2. En hastighedsændring fra 80 km/t til 130 km/t er en procentvis stigning på 62%. Det giver ikke nogen væsentlig ændring i elbilens PWM switch frekvens, men elbilens PWM duty cycle øges med en faktor 4.3 for at levere den nødvendige energi til en hastighed på 130km/t. Lydfeltet fra 2000 kg elbiler vil derfor totalt blinde en 6 g dansk flagermus i hele området langs Vest motorvejen.

Konklusion

Elbilers PWM-støj udgør en ny og overset form for **akustisk forurening**, som falder direkte i **flagermusenes sanseområde** og dermed truer flere af Danmarks **bilag IV-beskyttede arter**. Denne støjtype er ikke blot et teknisk problem – den er et **juridisk og politisk ansvar**.

Konsekvenserne er veldokumenterede og alvorlige:

- **Biologisk:** Flagermus mister fødegrundlag, udsættes for øget kollisionsrisiko og får fragmenteret deres levesteder.
- **Juridisk:** Forstyrrelse af disse arter er i direkte **konflikt med Habitatdirektivets artikel 12 og Naturbeskyttelseslovens § 29 a**.
- **Forvaltningsmæssigt: Forsigtighedsprincippet** forpligter myndighederne til at afvise eller udsætte motorvejsprojekter, indtil det er dokumenteret, at flagermus ikke påvirkes negativt af højfrekvent støj fra elbiler.

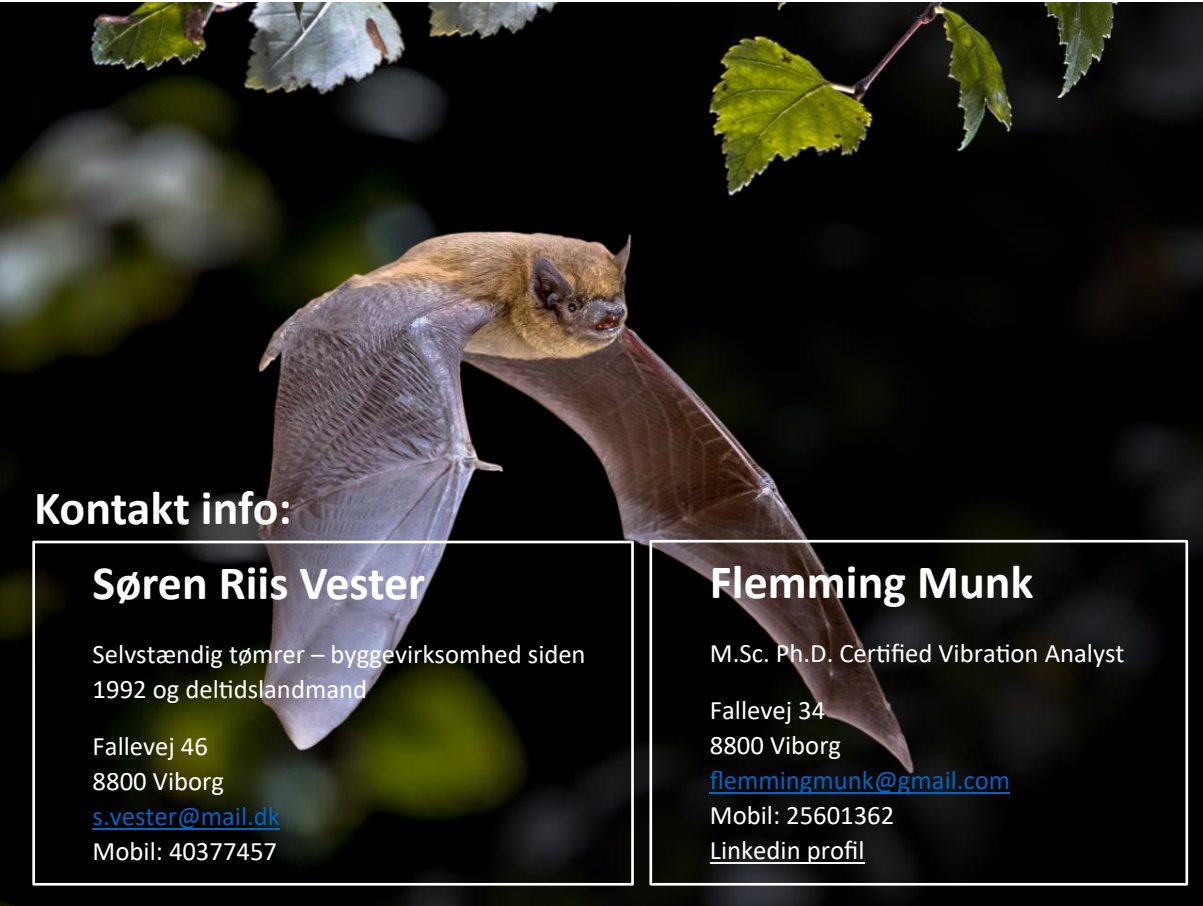
Derfor bør **højfrekvent støj fra elbiler** fremover indgå som et **obligatorisk kriterium i miljøkonsekvensvurderinger (VVM)**. Samtidig bør staten tage initiativ til at udvikle og regulere **tekniske løsninger**, der reducerer de ultrasoniske emissioner fra elbilernes drivlinjer.

At fortsætte planlægningen af en **Vestmotorvej ved Viborg** uden at adressere dette forhold vil være **uforeneligt med både EU-retten og dansk naturbeskyttelseslovgivning**. Det vil også være et **politisk svigt**, hvor hensynet til kortsigtet transportvinding sættes over langsigtet natur- og artsbeskyttelse.

At Danmark huser et af **Nordeuropas største overvintringsområder for flagermus** er ikke blot et biologisk faktum – det er et **moralsk mandat**. Det forpligter os til at handle med respekt for naturens grænser – og til at vælge en fremtid, hvor teknologisk fremskridt ikke sker på bekostning af liv, der ikke har nogen stemme.

Referenceliste

- [1] [*Traffic noise playback reduces the activity and feeding behaviour of free-living bats*](#) af Domhnall Finch, Henry Schofield, Fiona Mathews, ELSEVIER 2020
- [2] [*Sounds of silence: electric mobility promises a quieter soundscape for wildlife, but may challenge ultrasonically sensitive species globally*](#) af Baheerathan Murugavel, Manjari Jain og Oliver Lindecke, ResearchGate July 2025
- [3] [*Joint Time Frequency Analysis*](#) lecture note, Aalborg Universitet 2001
- [4] [*Skrigene*](#), TV udsendelse i TV-Nord om flagermusdetektorer, 1999.
- [5] [*Mørkets Musik*](#), Avisartikel i Aalborg Stiftstidende om en nyudviklet flagermusdetektor, 1999
- [6] [*Effects of ultrasonic noise on the human body-a bibliographic review*](#) af Bożena Smagowska og Małgorzata Pawlaczyk-Łuszczynska, PubMed 2013
- [7] [*Air-conducted ultrasound below the hearing threshold elicits functional changes in the cognitive control network*](#) af Markus Weichenberger, Marion U Bug, Rüdiger Brühl, Bernd Ittermann, Christian Koch, Simone Kühn. PMC PubMed Central 2022
- [8] [*Udflyvning af flagermus fra Mønstred og Daugbjerg Kalkgruber i foråret 2022*](#), Aarhus Universitet
- [9] [*Bestandsovervågning af Flagermus arter i Mønsted Kalkgruber med Fotofælder*](#), Aarhus Universitet
- [10] [*Overvågning af arter 2004-2011*](#), Aarhus Universitet, 2013
- [11] [*Finderup Øvelsesplads - Tillæg til drifts- og plejeplan 2012-2022*](#), Forsvaret
- [12] [*Finderup Øvelsesplads - Drift og plejeplan 2001-2015*](#), Miljø- og Energiministeriet
- [13] [*Finderup Øvelsesplads - Ordensreglementet*](#), Jyske DragonRegiment 2003
- [14] [*Forvaltningsplan for Flagermus*](#), Naturstyrelsen, Miljøministeriet 2013
- [15] [*God praksis for skovarealer med flagermus*](#), Miljøministeriet, Skov og Naturstyrelsen 2010



Kontakt info:

Søren Riis Vester

Selvstændig tømrer – byggevirksomhed siden 1992 og deltidslandmand

Fallevej 46
8800 Viborg
s.vester@mail.dk
Mobil: 40377457

Flemming Munk

M.Sc. Ph.D. Certified Vibration Analyst

Fallevej 34
8800 Viborg
flemmingmunk@gmail.com
Mobil: 25601362
[Linkedin profil](#)