



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Måling af støj hos vindmøllenaboer

Mindre vindmøllepark Målinger i dag og nat perioden

Miljøportalen nr. 2048

November 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Bo Søndergaard

Jørgen Heiden

Niels F. Christensen

SWECO

Fotos:

SWECO

ISBN: 978-87-93710-99-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Resume

I forbindelse med kritik af Miljøministeriets retningslinjer for dokumentation af støjbelastningen fra vindmøller gennem kildestyrkemålinger og beregninger har Miljøstyrelsen iværksat en serie af undersøgelser baseret på direkte måling af støj fra vindmøller ved naboer til vindmøller. I denne undersøgelse, er der foretaget målinger i dagperioden og natperioden ved naboer til en mindre vindmøllepark ved Vildbjerg. Formålet med undersøgelsen er at opnå viden om hvorvidt det er realistisk at gennemføre dokumentation af støj fra vindmøller gennem direkte målinger samt om der optræder fænomener om natten og/eller udenfor det vindhastighedsområde på 6 m/s til 8 m/s, som de gældende regler omfatter, der kan give anledning til revurdering af reglerne.

Den gennemførte undersøgelse viser, at det kan være yderst vanskeligt at fastlægge støj fra vindmøller gennem direkte målinger ved naboerne. Der er både planlægningsmæssige og tekniske forhold, der skal overvejes inden en målekampagne iværksættes. I nogle tilfælde vil det ikke være muligt at gennemføre denne type af målinger på grund af høj baggrundsstøj. Generelt forventes usikkerheden på resultaterne at være større end ved anvendelse af de gældende principper. Omkostningerne til målingerne vil være større på grund af længere måletid, planlægning af måletidspunkt og forløb og det faktum, at der skal udføres individuelle målinger for hver bolig.

Der er ikke i forbindelse med målingerne konstateret særlige støjmæssige forhold ved vindhastigheder udenfor det normale vindhastighedsområde. Det kan dog konstateres, at toner kan være tydeligt hørbare ved lave vindhastigheder selvom de er vurderet ikke hørbare for standardområdet 6 m/s - 8 m/s. Der har været eksempler på, at baggrundsstøjen er lavere om natten, hvorved vindmøllestøjen fremstår tydeligere.

Summary in English

In connection with criticism of the Ministry of the Environment's guidelines for documentation of noise from wind turbines through sound power measurements and noise predictions, the Danish Environmental Protection Agency has launched a series of studies based on direct measurement of noise from wind turbines at neighbours to wind turbines. In this study, measurements have been made during the day and night period at neighbours to a smaller wind farm near Vildbjerg. The purpose of the study is to gain knowledge about whether it is realistic to implement documentation of noise from wind turbines through direct measurements and whether special noise issues occur during the night period and/or outside the wind speed range of 6 m/s to 8 m/s the current regulations include and which may give rise to reassessment of the regulations.

The study shows that it can be very difficult to determine noise from wind turbines through direct measurements at the neighbours. Planning and technical issues are to be considered before a measurement campaign is launched. In some cases, it will not be possible to perform this type of measurements due to high background noise. In general, the uncertainty of the results is expected to be greater than when applying the current principles. The cost of the measurements will be greater due to longer measurement time, selection of measurement period and the fact that individual measurements must be performed for each neighbour.

No special noise phenomena were found outside the normal wind speed range. It is found that tones in the noise can be more prominent at lower wind speeds even if found insignificant for the standard wind speed range from 6 m/s – 8 m/s. It is found that the background noise can be lower during the night period causing the wind turbine noise to be more audible.

Indhold

Resume 3

Summary in English	4
1. Formål	7
2. Måleobjekt	8
3. Fremgangsmåde	9
3.1 Målesetup	9
3.2 Databehandling	9
3.3 Anvendt måleudstyr og programmer	9
4. Omstændigheder	10
4.1 Planlægning	10
4.2 Vejrforhold	10
4.3 Udendørs forhold	11
4.4 Indendørs forhold	12
5. Gennemførelse af målingerne	13
6. Resultater	19
6.1 Overblik	19
6.2 Sammenhæng til vindhastighed	21
6.3 Baggrundsstøj og vindhastighed	22
6.3.1 Resultater fra bolig A	24
6.3.2 Resultater fra bolig B	27
6.3.3 Resultater fra bolig C	27
6.4 Sammenhæng til vindretning	31
6.5 Sammenhæng til dag/nat forhold	32
6.5.1 Resultater fra bolig A	32
6.5.2 Resultater fra bolig C	35
6.6 Indhold af toner	37
6.7 Amplitudemodulation	41
7. Usikkerhed	43
8. Grænseværdier	44
9. Kommentarer	45
Bilag 1.Kort over målelokationer	47
Bilag 1.1 Kort over vindmøllepark og naboer	47
Bilag 2.Tidsserieplots	48
Bilag 2.1 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1	48

Bilag 2.2	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2	49
Bilag 2.3	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3	50
Bilag 2.4	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig B	51
Bilag 2.5	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2	52
Bilag 2.6	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3	53
Bilag 3.Scatterplots		54
Bilag 3.1	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1	54
Bilag 3.2	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2	55
Bilag 3.3	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3	56
Bilag 3.4	Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1	57
Bilag 3.5	Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2	58
Bilag 3.6	Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3	59
Bilag 4.Scatterplots med baggrundsstøj		60
Bilag 4.1	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1	60
Bilag 4.2	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2	62
Bilag 4.3	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3	64
Bilag 4.4	Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1	66
Bilag 4.5	Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2	68
Bilag 4.6	Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3	70
Bilag 5.Overvejelser om måling af vindhastighed.		72

1. Formål

Der har fra forskellig side været rejst kritik af de nuværende retningslinjer for måling og beregning af støj fra vindmøller. Der har også været klager fra naboer, som med lånt udstyr har målt mere støj, end der er beregnet i henhold til bekendtgørelsen. Det ønskes derfor at få den nuværende reguleringsmetode sammenlignet med målinger hos naboer til vindmøller for at styrke tilliden til metoden – alternativt at bruge målingerne som udgangspunkt for at se nærmere på forhold, som måtte vise sig utilstrækkelige.

Formålet med undersøgelsen er således at søge afklaring på:

- Er det bedre at dokumentere vindmøllestøjen gennem målinger hos naboerne end med den metode, der er beskrevet i Miljøministeriets Bekendtgørelse om støj fra vindmøller?
- Er de målte støjniveauer anderledes end de beregnede for støj og lavfrekvent støj?
- Er der forhold ved andre vindhastigheder end 6 m/s og 8 m/s, der berettiger til at indtage flere vindhastigheder i reguleringen?
- Er støjforholdene anderledes om natten end om dagen?

For at belyse disse problemstillinger er der gennemført en række målekampanjer, hvor der er foretaget måling af støjen hos naboer til vindmøller samt registrering af driftsparametre for de pågældende vindmøller.

2. Måleobjekt

I forbindelse med undersøgelsen har Miljøstyrelsen på forhånd lavet aftaler med ejerne af vindmøllerne samt de udvalgte naboer om at deltage i undersøgelsen. Den pågældende vindmøllepark består af 3 Vestas V112-3MW vindmøller. Vindmøllerne står på en ret linje, der er orienteret nord - syd. Der er udvalgt 3 naboer i forskellige retninger, øst og vest for vindmøllerne. Vindmøllerne er placeret i et fladt terræn med spredte beplantningsområder. Nabobeboelserne ligger i afstande fra 650 meter til 920 meter fra nærmeste vindmølle.

I forbindelse med besigtigelse blev der spurgt til vindmøllerne som nabo.

Naboernes kommentarer til vindmøllerne var:

- De to naboer i størst afstand finder, at det ikke er et problem
- Den nærmeste nabo (bolig A) oplever i perioder støjgener – især i en udestue.

3. Fremgangsmåde

For at opnå så godt et datagrundlag som muligt i forbindelse med undersøgelsen er det tilstræbt at gennemføre målinger under så varierede vejrforhold som muligt. Det er ønskeligt at der opnås data for vindhastigheder, der både dækker de sædvanlige 6 m/s og 8 m/s samt ligger både over og under disse vindhastigheder. Med naboboligerne udvalgt i forskellige retninger er det muligt at dække forskellige vindretninger. Målingerne er aftalt med naboerne til at foregå i både dag- og nattetimerne (mindst 2 nætter) en måledag ad gangen. Der er gennemført 3 målekampanjer i alt med 2 naboer involveret i hver målekampagne. Dermed er der foretaget målinger i hver bolig 1 - 3 gange i alt. Boligerne er betegnet med A, B og C i rapporten.

3.1 Målesetup

Det er i denne undersøgelse, aftalt at der udføres følgende støjmålinger:

- Måling indendørs i 3 positioner iht. Miljøstyrelsens retningslinjer for måling af lavfrekvent støj indendørs i boliger, P1 – P3.
- Måling i en position udenfor boligen, P4.
- Måling i en position mellem vindmølleparken og boligen, P5.

Derudover er der opsamlet følgende data:

- Måling af vindhastighed og retning i 10 m højde ved en af boligerne
- Data fra vindmøllerne i form af produceret effekt, vindhastighed i navhøjde samt yderligere operationelle parametre, der kan afklare vindmøllernes driftstilstand.

Der er anvendt et PC baseret målesystem ved boligen til registrering af støjen inde i boligen samt umiddelbart udenfor. Derudover er der anvendt en lydmåler til måling af støjen i positionen mellem vindmøllerne og boligen. Lyden er gemt som wav-fil på lydmåleren. Vindhastighed og retning er registreret med en separat opstillet vindmåler, der har lagret data med 15 sekunds intervaller og data fra vindmøllerne er efterfølgende leveret af vindmøllefabrikanterne som separate datafiler.

Målingerne er gennemført med alle vindmøller i drift samt med korte standsninger af samtlige vindmøller af en varighed på ca. 30-60 minutter.

3.2 Databehandling

I laboratoriet er data synkroniseret og analyseret samlet som 10 sekunder, 60 sekunder og 600 sekunders midlinger for hele måleperioden. Analyseparametrene er L_{Aeq} , L_{A95} , L_{A90} , $L_{pA,LF}$, L_{pG} , 1/3-oktavspektre ned til 10 Hz samt FFT spektre med 2 Hz linjebredde. På baggrund af disse parametre er der lavet korrelationer til vindhastighed, vindretning og produceret effekt.

3.3 Anvendt måleudstyr og programmer

Det anvendte måleudstyr er alt sammen omfattet af Acoustica's periodiske kontrol og er godkendt til akkrediterede støjmålinger. Til analyserne er anvendt programmer udviklet af Acoustica til bestemmelse af de forskellige akustiske parametre anvendt i analyserne.

4. Omstændigheder

4.1 Planlægning

Formålet med at gennemføre målekampagnerne som flere et-døgns kampagner er at opnå en større spredning på de meteorologiske forhold i form af vindretninger og vindhastigheder, samt sikre en vis statistisk uafhængighed af måleresultaterne. Endvidere søges det her afdækket om der optræder særlige forhold i natperioden. Det er tilstræbt at opnå situationer med både medvind og forhold, hvor der er modvind, eventuelt forhold hvor vindretningskomponenten er negativ. Henover måleforløbet, der startede med den første målekampagne i januar og den sidste i maj har der været konstant opmærksomhed på at vælge så varierede forhold som muligt. Da beboerne af boligerne som velvilligt har stillet deres boliger til rådighed for projektet har haft behov for et vist varsel har vejrforholdene skullet baseres på vejrudsigter 3-4 dage i forvejen. Dette har været særligt vigtigt da målingerne også omfattede målinger om natten. Endvidere har der været tidsmæssige begrænsninger, idet weekender ikke var mulige måledage. For bolig A var torsdag endvidere udelukket på grund af ejerens hjemmearbejde. Det har helt naturligt ført til forsinkelser i afviklingen af målingerne, da vejret ofte har udviklet sig anderledes end forventet ud fra prognoserne – selv de mest kortsigtede. I sidste ende er det valgt at gennemføre målekampagnerne med mindre variationer end det oprindeligt var tænkt.

4.2 Vejrforhold

De 3 målekampagner er udført under vejrforhold som anført i **Tabel 1**. Data er fra vindmølle 2, der anvendes som reference for vindhastighed og retning i alle analyserne. Vindhastigheden er omregnet fra navhøjde til 10 m højde som anført i Bekendtgørelse 1736 af 21/12-2015.

Målekampagne	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [deg]	Effekt [kW]	Nedbør
1. 12/1-2017	2-7	200-250	50-2165	Ingen
2. 4/4-2017	3-14	230-305	790-3095	Ingen
3. 30/5-2017	2-13	240-300	250-3085	Ingen

Tabel 1. Oversigt over meteorologi under målingerne. Data er fra vindmølle 2, der anvendes som reference for vindhastighed og retning i alle analyserne. Vindhastigheden er omregnet fra navhøjde til 10 m højde.

Målekampagne 1: 12/1-2017:	Ved målingen var det overvejende tørt. Vindhastigheden var noget lavere end vejrudsigstens prognose. Vindretningen var nogenlunde stabil i det syd-sydvestlige hjørne under størstedelen af målingen.
Målekampagne 2: 4/4-2017:	Ved målingen var det overvejende tørt og skyet vejr. Vindhastigheden startede lavere end forudsagt af meteorologerne og dykkede yderligere til under vindmøllernes driftshastighed, men endte relativt højt. Vindretning var dog nogenlunde stabil omkring vest.
Målekampagne 3: 30/5-2017:	Ved målingen var det overvejende tørt og skyet vejr. Vindhastigheden startede lavt, 2 m/s, hvorefter den gradvist steg til 13 m/s. Vindretningen var relativ stabil omkring nordvest.

4.3 Udendørs forhold

De udvalgte boliger ligger i forskellige afstande og retninger i forhold til vindmølleparken. Bologernes placeringer er vist i Figur 1, hvor også vindmøllernes placering er vist.



Figur 1. Kort over vindmøllepark og berørte boliger

Bolig A, Sofiedalsvej 32 7480 Vildbjerg, er et mindre nedlagt landbrug udelukkende indrettet til beboelse og et større udhus beliggende i L-form. Stuehuset er i 1½-plan, mens udhusbygningen kun er udnyttet i stueetagen. Stuehuset ligger med gavlen mod vindmøllerne, mens udhusbygningens ene facade vender mod møller og ligger, så den skærmer sydsiden af stuehuset. Udestuen er beliggende i det "åbne" hjørne af det L-formede byggeri og er overvejende konstrueret af lette plastikpaneler. Ejendommen har en stor græsdækket have, således at træbevoksning tæt på huset er beskeden,

Bolig B, Romvigvej 7 7480 Vildbjerg, er et nybygget landejendom bestående af et stuehus i 1½-plan samt to større udhusbygninger. Stuehuset ligger frit eksponeret for vindmøllestøjen med store glasarealer vendende mod møllerne. Huset har en mindre græsplæne ud til en randbevoksning bestående af mindre træer (3 – 5 meter høje) i flere rækker.

Bolig C, Romvigvej 2A 7480 Vildbjerg, er et ældre husmandssted bestående af længeformet stuehus i 1½-plan samt en lade og staldbygning, som delvist skærmer stuehusets sydside mod vindmøllestøjen. Huset omkranses mod nord, øst og syd af en ældre træbevoksning – dog med gårdsplads eller mindre have imellem. I retning mod møllerne er der åbent med beskeden bevoksning.

4.4 Indendørs forhold

I bolig A er målingerne udført i et lokale placeret i udhusbygningen, hvor der var indrettet et kontor og hvor beboernes trafik stort set kunne undgås i måleperioden. Rummet har en dør og et mindre vindue i den facade, som vender mod vindmøllerne.

I bolig B er målingerne udført i stuen i stueetagen. Rummet har store vinduesarealer inklusive en stor glaskarnap, der vender mod vindmøllerne. Huset var uden beboere under det meste af måleforløbet.

I bolig C er målingerne udført i et værelse beliggende i stueetagen i husets sydvestlige hjørne. Rummet har et vindue i husets syd facade. Huset var uden beboere under det meste af måleforløbet.

5. Gennemførelse af målingerne

På de enkelte måledage blev målesystemerne sat op sidst på dagen – omkring kl. 19 – 21. Målesystemerne var generelt ubemandede henover aften, nat og dag og blev efterfølgende taget ned sidst på eftermiddagen, når aktivitetsniveauet i boligerne blev højt, typisk omkring kl. 16.

I Tabel 2 er vist i hvilke perioder de forskellige målesystemer har været aktive. Der er indhentet data fra vindmøllerne for hele måleperioden.

Målekampagne	Vindmåler	Lydmålepositioner					
		PA1-4	PA5	PB1-4	PB5	PC1-4	PC5
1. 12/1-2017	21:00-15:41	21:00–02:00; 06:32-15:46	*	22:50-11:16	23:05-15:41*		
2. 4/4-2017	20:37-15:58	19:03-23:16; 06:50-16:57	21:07-15:50			08:11-15:57	20:53-00:24
3. 30/5-2017	21:20-15:59	19:50-17:17	21:54-17:49			21:20-15:59	21:51-06:08

*Kun L_{Aeq} registreret.

Tabel 2. Oversigt over måleperioder

Det har ikke været muligt at retablere forbindelsen til måleudstyr som har haft udfald i løbet af natten. Der hvor der har været udfald på PA5, er data fra PB5 brugt til begge naboer.

Eksempler på opstilling af måleudstyret er vist i Figur 2 – Figur 11. Alle udendørs målepositioner er forsynet med ekstra vindhætte til dæmpning af vindstøj i måleudstyret.



Figur 2. Målepositioner indendørs i bolig A. Kun 2 af 3 positioner vist.



Figur 3. Udendørs måleposition PA4 og vindmåler ved bolig A



Figur 4. Mellemposition PA5 ved bolig A



Figur 5. Indendørs målepositioner i bolig B. Vist uden mikrofoner.



Figur 6. Udendørs måleposition PB4 ved bolig B



Figur 7. Mellemposition ved bolig B



Figur 8. Indendørs målepositioner i bolig C. Kun 2 af positionerne er vist på billedet.



Figur 9. Udendørs måleposition PC4 ved bolig C. Set i retning fra nord



Figur 10. Måleposition PC5. Mellemposition ved bolig C



Figur 11. Eksempel på placering af vindmåler. Frit placeret i forhold til vindmøller og boliger.

6. Resultater

6.1 Overblik

Efter synkronisering af samtlige måleparametre er der foretaget midling over sammenhængende intervaller på 10 sekunder, 60 sekunder og 600 sekunder (10 minutter). Følgende parametre er bestemt. L_{Aeq} , L_{A95} , L_{A90} , $L_{pA,LF}$, L_{pG} , 1/3-oktavspektre ned til 10 Hz samt FFT spektrere med 2 Hz linjebredde. På den baggrund er det muligt at vurdere forløbet af disse parametre som funktion af tid, effekt, vindhastighed, vindretning og lignende. Midlingerne over 10 sekunder har dog vist sig at være for korte og omfattende til at give overskuelige resultater. Midlingerne over 1-minuts perioder har en opløsning, der både giver informationer om kortvarige variationer samt sammenhængende overblik af mere overordnet karakter. 10-minutters midlingerne giver ikke tilstrækkeligt med detaljer under så korte målekampagner som det her er tilfældet.

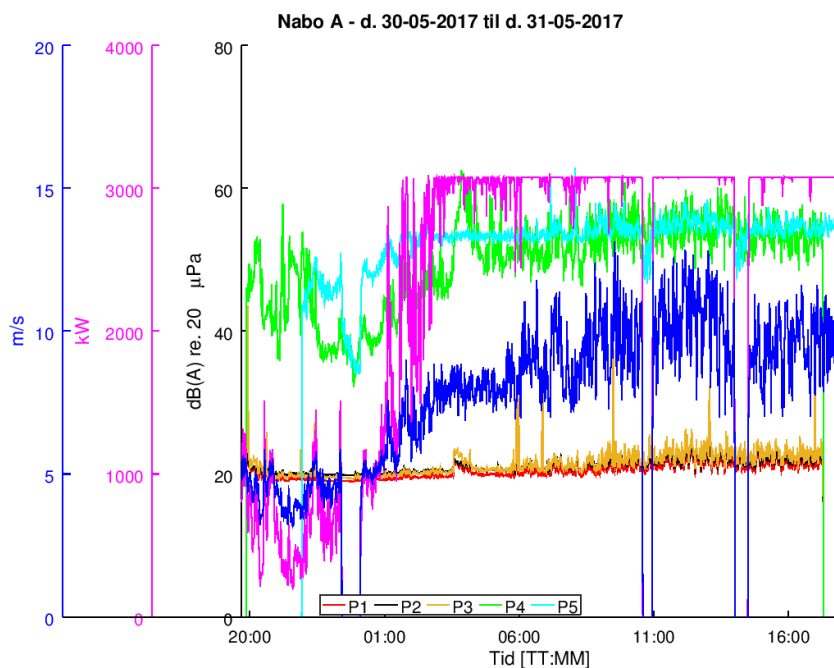
Det har kunnet konstateres, at L_{Aeq} værdierne i nogle tilfælde er stærkt påvirket af trafikstøj, aktivitet hos beboerne samt fuglesang, og at de statistiske niveauer L_{A90} ¹ giver et bedre indtryk af sammenhængen til vindmøllestøjen idet kortvarige hændelser undertrykkes. I Figur 12 og Figur 13 er vist et eksempel på støjmålingerne som funktion af tiden for hhv. L_{Aeq} og L_{A90} . Bemærk, at resultaterne for P4 tæt på boligen periodevis ligger over resultaterne for P5 tæt på vindmøllerne i Figur 12 og under i Figur 13. L_{A90} giver altså en bedre repræsentation af støjen fra vindmøllerne, mens kortvarige hændelser undertrykkes. Dette understøttes især af kurverne i Figur 14, hvor støjmålingerne er vist som funktion af vindhastigheden. Her ses tydeligt forstyrrelser ved omkring 3 og 4 m/s. Disse forstyrrelser er identificeret som fuglesang, som kun er til stede kortvarigt i hver 1 minuts-midling.

I Storbritannien anvendes L_{A90} som den primære parameter ved måling af vindmøllestøj ved naboer. I ETSU R97, som er den grundlæggende vejledning i Storbritannien, er det anført, om sammenhængen mellem L_{Aeq} og L_{A90} at det antages at L_{A90} er 2 dB lavere end L_{Aeq} når der anvendes 10 minutters middelværdier. Dette stemmer overens med resultaterne af de gennemførte målinger, hvor forskellene ligger mellem 1 – 3 dB, for perioder, hvor vindmøllestøjen er dominerende. På baggrund af disse sammenhænge er det valgt at udføre de detaljerede bin analyser for L_{A90} i stedet for L_{Aeq} , mens analyserne for lavfrekvent støj og infralyd er baseret på de ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$ og L_{pG} , idet der ikke er kendskab til sammenhængen til det statistiske niveau for disse parametre. Ved sammenligning med grænseværdier skal der adderes 2 dB til værdierne for L_{A90} .

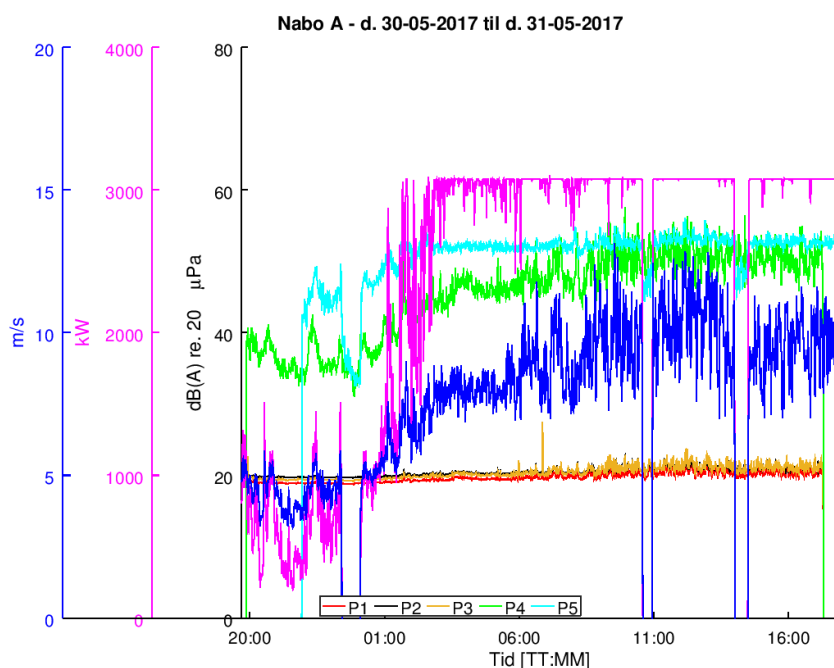
For de indendørs målinger er det valgt at anvende energimiddelværdien for måleposition P1, P2 og P3 da der ikke er væsentlige forskelle på resultaterne fra de 3 målepositioner. Der er angivet resultater for det A-vægtede støjniveau indendørs samt for det G-vægtede infralydniveau indendørs og udendørs. Der er ikke grænseværdier for disse parametre når det drejer sig om vindmøllestøj, men det er fundet relevant at rapportere resultaterne.

I bilag 2 er tidsserieplots for alle målinger baseret på 1 minuts midlinger vist for de analyserede parametre. I de kortvarige vindmøllestop (effekten er 0 kW) kan det ses, om støjniveauet falder for de analyserede parametre. Det viser om vindmøllerne bidrager til niveauerne eller anden støj er dominerende.

¹ Det statistiske niveau L_{A90} repræsenterer det støjniveau, der er overskredet i 90 % af tiden.



**Figur 12. Resultater fra målekampagne 3 ved bolig A angivet som ækvivalente støjni-
veauer over 1 minuts perioder.**



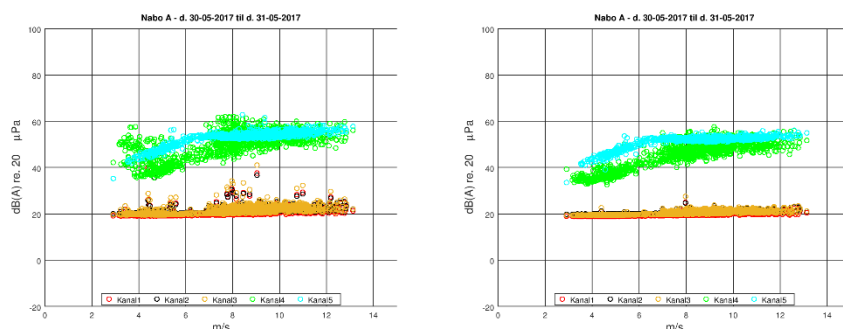
**Figur 13. Resultater fra målekampagne 3 ved bolig A angivet som statistiske niveauer,
der er overskredet 90 % af tiden for 1 minuts perioder.**

I bilag 2 er tidsserieplots for alle målinger baseret på 1 minuts midlinger vist for de analyserede parametre. I disse plots er det muligt at se hvilke perioder vindmøllerne har været standset (Effekt = 0kW) og i hvilke perioder støjen falder når vindmøllerne er standset og dermed viser en tydelig sammenhæng til vindmøllernes drift.

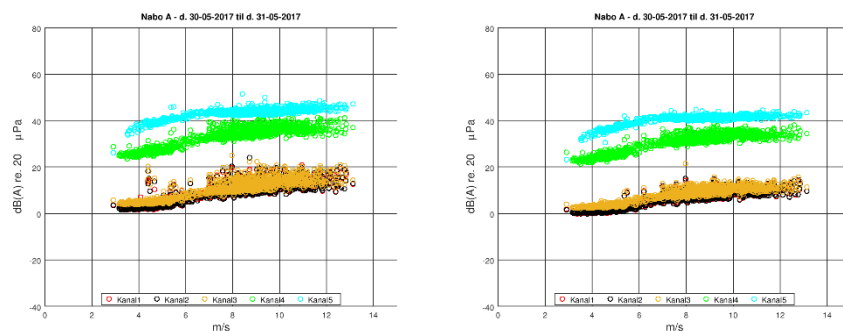
6.2 Sammenhæng til vindhastighed

Da støj fra vindmøller viser en stærk sammengæng til vindhastigheden er der lavet plots af måleresultaterne som funktion af vindhastigheden. Eksempler på disse scatterplots er vist i Figur 14 og Figur 15. Det fremgår at der er en sammenhæng til vindhastigheden for alle målingerne, stærkest for måleposition P5 tættere på vindmøllerne og svagest for de indendørs støjniveauer. For de indendørs lavfrekvente støjniveauer ses dog også en tydelig sammenhæng til vindhastigheden. I de viste plots er der, for at illustrere kompleksiteten i målingerne, ikke lavet en sortering af datapunkter med høje baggrundsstøjniveauer. Dette er dog gjort i den efterfølgende bin-analyse.

I bilag 3 er scatterplots for alle målinger baseret på 1-minuts midlinger vist for de analyserede parametre. I disse plots kan det blandt andet ses, at støjen udendørs ved boligerne i nogle tilfælde ligger højere end støjen i mellempositionen tættere på vindmøllerne. Det ses som udtryk for, at ved høje vindhastigheder er støjen ved boligerne domineret af vindgenereret støj fra beplantningen ved boligerne. Der gælder ingen grænseværdier for det indendørs A-vægtede støjniveau, men resultaterne kan anvendes til at vurdere om vindmøllestøjen er hørbar i det almindelige frekvensområde. Ligeledes gælder der ikke grænseværdier for det indendørs infralyd niveau, men da der gennem tiden har været en del opmærksomhed om infralyd fra vindmøller, er det fundet relevant at analysere og vurdere disse resultater.



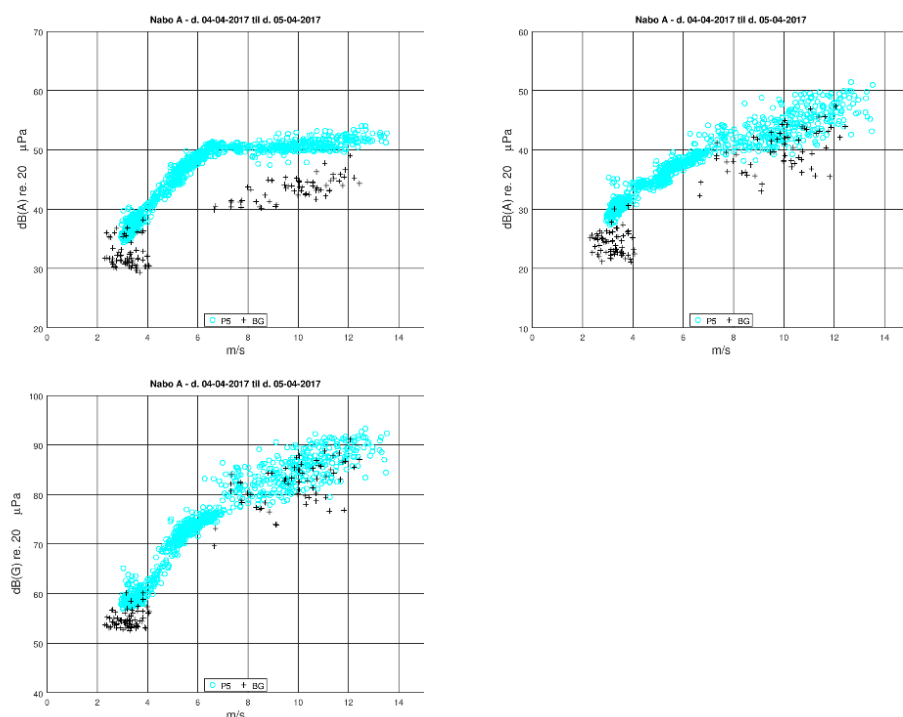
Figur 14. Resultater fra målekampagne 3 ved bolig A angivet som ækvivalente støjniveauer (venstre) og statistiske niveauer (højre) over 1 minuts perioder.



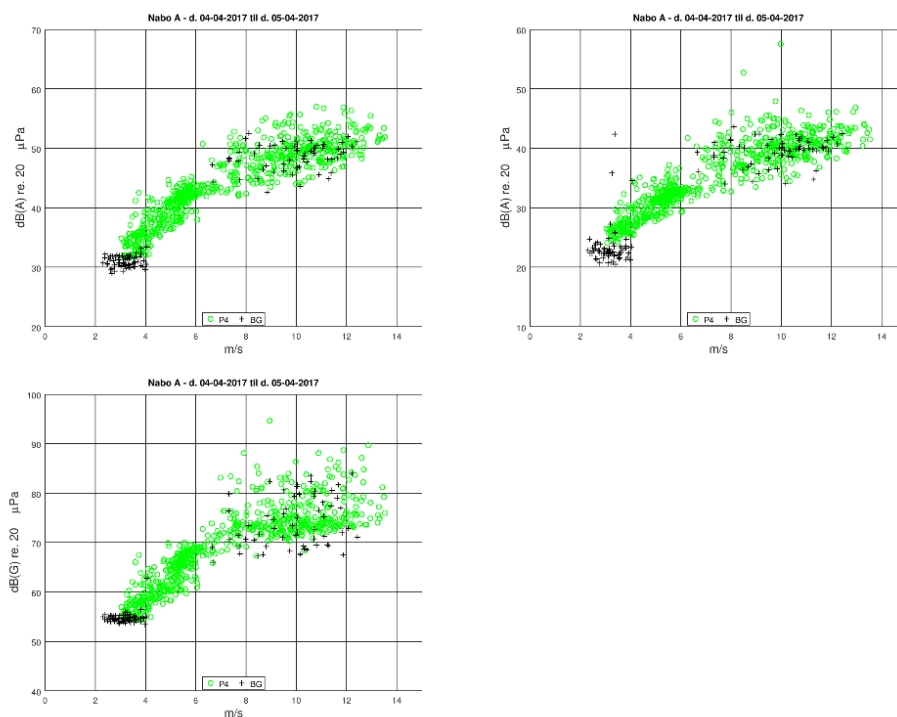
Figur 15. Resultater fra målekampagne 3 ved bolig A angivet som ækvivalente støjniveauer (venstre) og statistiske niveauer (højre) for den lavfrekvente støj indendørs over 1 minuts perioder.

6.3 Baggrundsstøj og vindhastighed

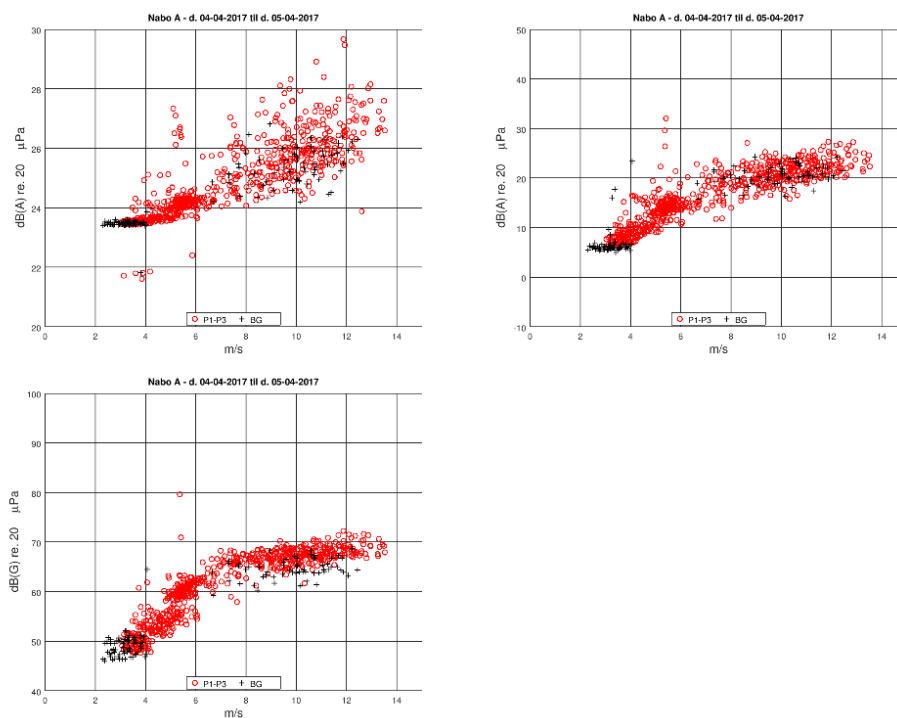
Da støjniveauet forårsaget af vind i vegetation ligesom vindmøllestøjen har en stærk sammenhæng til vindhastigheden, kan det være svært at skelne mellem støjen forårsaget af støjbidrag fra møllen og støj fra vind i vegetationen. Det er derfor vigtigt at kende baggrundsstøjen ved forskellige vindhastigheder. Scatterplot der viser støjens afhængighed af vindhastigheden med og uden møllerne i drift findes i bilag 4. Eksempler på disse scatterplot er vist i Figur 16, Figur 17 og Figur 18. Baggrundsstøjen er markeret som sorte krydser i figurene. Det er kun få registreringer af baggrundsstøjen, da vindmøllerne kun har været standset i korte perioder i forbindelse med målekampagnerne. Det fremgår tydeligt at baggrundsstøjen ved møllerne samt udendørs og indendørs ved naboen afhænger af vindhastigheden. Tæt ved vindmøllerne er det tydeligt at støjniveauet falder når møllen slukkes. Tæt ved boligen er baggrundsstøjen i samme størrelsesorden som støjen med vindmøllerne i drift.



Figur 16. Resultater fra målekampagne 3, mellempositionen PA5, ved bolig A over 1 minuts perioder. Udendørs støjniveau ved vindmøllen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} . Baggrundsstøjen ligger tydeligt lavere end med vindmøllerne i drift for L_{A90} , mens forskellen er mindre for $L_{pA,LF}$ og L_{pG}



Figur 17. Resultater fra målekampagne 3, PA4, ved bolig A over 1 minuts perioder. Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} . For alle 3 parametre er baggrundsstøjen og støjen med vindmøllerne i drift i samme størrelsesorden ved høj vind.



Figur 18. Resultater fra målekampagne 3, PA1, i bolig A over 1 minuts perioder. Indendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} . For alle 3 parametre er baggrundsstøjen og støjen med vindmøllerne i drift i samme størrelsesorden.

6.3.1 Resultater fra bolig A

I Tabel 3 til Tabel 6 er hovedresultaterne fra målingerne i og ved bolig A anført. Der er ikke anført værdier for baggrundsstøjen for alle vindhastigheder, da der kun har været kortvarige perioder med alle vindmøller standset.

Vindhastighed	Målekampagne 1		Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	19,0	19,4	-	-	-	-
3 m/s	18,7	19,0	18,7	18,7	19,4	-
4 m/s	19,1	19,5	18,8	18,7	19,4	19,3
5 m/s	19,2	19,3	19,5	-	19,4	19,3
6 m/s	20,7	-	19,5	-	19,6	19,3
7 m/s	19,9	-	20,1	20,4	20,0	19,7
8 m/s	-	-	20,3	20,5	20,3	20,7
9 m/s	-	-	20,7	20,6	20,6	20,8
10 m/s	-	-	20,8	20,7	20,8	20,7
11 m/s	-	-	21,4	20,8	20,9	20,6
12 m/s	-	-	22,3	21,2	21,1	20,3
13 m/s	-	-	23,0	-	21,4	-

Tabel 3. Resultater fra bolig A for L_{A90} , indendørs i dB re 20µPa.

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Det er ikke muligt med sikkerhed at konstatere om støjen skyldes vindmøllerne, vindstøj i omgivelserne eller et konstant lydniveau fra husets installationer.

Vindhastighed	Målekampagne 1		Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	10,6	7,4	-	-	-	-
3 m/s	8,4	6,1	3,0	3,2	3,1	-
4 m/s	9,9	8,5	5,5	1,4	3,5	2,8
5 m/s	10,8	8,0	10,4	-	4,6	2,9
6 m/s	13,0	-	10,4	-	7,0	2,8
7 m/s	8,8	-	13,7	15,4	10,1	7,0
8 m/s	-	-	14,2	15,0	11,1	12,8
9 m/s	-	-	15,3	15,8	12,8	12,1
10 m/s	-	-	16,2	16,4	13,7	12,9
11 m/s	-	-	17,5	16,7	14,4	13,4
12 m/s	-	-	19,8	16,9	15,3	11,5
13 m/s	-	-	20,9	-	16,3	-

Tabel 4. Resultater fra bolig A for det lavfrekvente støjniveau $L_{pA,LF}$, indendørs i dB re 20µPa

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Det er ikke muligt med sikkerhed at konstatere om støjen skyldes vindmøllerne, vindstøj i omgivelserne eller et konstant lydniveau fra husets installationer. Grænseværdien for lavfrekvent støj fra vindmøller er 20 dB(A) og gælder ved 6 m/s og 8 m/s. De målte støjniveauer er ved alle vindhastigheder under denne grænse.

Vindhastighed	Målekampagne 1		Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	52,8	49,0	-	-	-	-
3 m/s	49,2	48,1	45,4	44,3	46,1	-
4 m/s	49,4	49,2	48,1	49,0	48,2	47,9
5 m/s	52,0	50,1	57,3	-	52,3	47,1
6 m/s	57,5	-	56,3	-	56,6	46,4
7 m/s	59,6	-	60,3	61,1	60,3	55,1
8 m/s	-	-	61,3	59,2	61,6	60,5
9 m/s	-	-	61,5	60,2	62,7	59,9
10 m/s	-	-	62,2	60,4	63,0	61,0
11 m/s	-	-	63,0	61,0	63,3	61,0
12 m/s	-	-	64,7	61,1	63,9	59,6
13 m/s	-	-	65,0	-	64,5	-

Tabel 5. Resultater fra bolig A for infralydniveauet L_{pG} , indendørs i dB re 20 μ Pa

For infralyden er der en mindre forskel med vindmøllerne i drift og standset ved høje vindhastigheder. Dette indikerer, at infralydniveauet fra vindmøllerne er målbart. Infralydniveauerne ligger dog 20 dB eller mere under grænseværdien for infralyd for industristøj på 85 dB(G) fra Orientering nr. 9/1997 fra Miljøstyrelsen.

Vindhastighed	Målekampagne 1		Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	39,1	38,3	-	-	-	-
3 m/s	39,4	36,0	34,3	31,0	35,7	-
4 m/s	42,1	41,2	36,7	31,4	36,4	34,5
5 m/s	40,5	41,5	41,7	-	38,1	34,0
6 m/s	41,2	-	42,9	-	42,0	35,1
7 m/s	41,9	-	46,0	47,3	46,5	45,3
8 m/s	-	-	47,2	49,2	48,3	50,7
9 m/s	-	-	48,9	48,5	50,0	51,7
10 m/s	-	-	48,8	49,2	50,8	50,4
11 m/s	-	-	50,6	49,3	50,9	50,0
12 m/s	-	-	52,9	50,3	51,2	47,8
13 m/s	-	-	54,0	-	52,3	-

Tabel 6. Resultater fra bolig A for L_{A90} , udendørs, PA4 i dB re 20 μ Pa

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Støjen er domineret af vindstøj i vegetationen ved alle vindhastigheder. Det er ikke muligt at drage konklusioner om overholdelse af støjgrænserne i Bekendtgørelse nr. 1736.

6.3.2 Resultater fra bolig B

I **Tabel 7** er resultaterne fra målingerne i bolig B vist. Da der kun er foretaget en målekampagne i denne bolig er resultaterne samlet i en tabel. Måleresultaterne er fra målekampagne 1. Resultaterne viser ikke en entydig korrelation til vindhastigheden. Da der kun er meget få målinger af baggrundsstøjen er den angivet som en værdi, der gælder for de enkelte vindhastigheder.

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	Baggrundsstøj
L_{A90} Inde P1-3	18,0	18,2	18,4	18,6	19,0	17,9
$L_{pA,LF}$ Inde P1-3	7,6	10,2	10,9	12,8	16,6	9,5
L_{A90} udendørs P4	36,0	36,3	38,9	38,7	36,4	34,8
L_{pG} Inde P1-3	57,6	54,5	54,6	58,5	53,1	57,8

Tabel 7. Resultater fra bolig B angivet i dB re 20 μ Pa. Baggrundsstøjen er repræsentativ for 4 – 5 m/s.

De målte indendørs lavfrekvente støjniveauer og udendørs støjniveauer ligger selv uden korrektion for baggrundsstøj under støjgrænserne fra Bekendtgørelse 1736.

6.3.3 Resultater fra bolig C

I **Tabel 8** til **Tabel 11** er resultaterne fra bolig C vist. Der er ikke anført værdier for baggrundsstøjen for alle vindhastigheder, da der kun har været kortvarige perioder med alle vindmøller standset.

Vindhastighed	Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	-	-	-	-
3 m/s	-	-	18,1	-
4 m/s	-	-	18,0	17,9
5 m/s	18,6	-	18,0	18,0
6 m/s	18,6	19,7	18,0	18,0
7 m/s	18,9	19,7	18,1	18,0
8 m/s	19,1	19,4	18,2	18,5
9 m/s	19,4	19,7	18,5	18,6
10 m/s	19,8	20,1	18,7	18,7
11 m/s	20,3	20,3	18,8	18,9
12 m/s	21,0	20,5	19,0	19,0
13 m/s	21,6	21,7	19,3	-

Tabel 8. Resultater fra bolig C for L_{A90} , indendørs i dB re 20µPa.

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Det er ikke muligt med sikkerhed at konstatere om støjen skyldes vindmøllerne, vindstøj i omgivelserne eller et konstant lydniveau fra husets installationer.

Vindhastighed	Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	-	-	-	-
3 m/s	-	-	0,2	-
4 m/s	-	-	10,9	-5,6
5 m/s	5,2	-	9,8	-2,7
6 m/s	7,6	14,3	1,3	4,4
7 m/s	10,3	15,3	7,8	-3,7
8 m/s	11,8	15,6	7,0	7,6
9 m/s	14,1	15,7	10,3	9,3
10 m/s	15,8	16,8	11,0	9,2
11 m/s	17,9	16,4	11,3	10,9
12 m/s	20,3	16,7	11,6	12,6
13 m/s	20,1	20,4	13,0	-

Tabel 9. Resultater fra bolig C for det lavfrekvente støjniveau $L_{pA,LF}$, indendørs i dB re 20µPa

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden for målekampagne 2, mens der er en tydelig forskel i målekampagne 3 for de lave vindhastigheder. Det er ikke muligt med sikkerhed at konstatere om støjen skyldes vindmøllerne, vindstøj i omgivelserne eller et konstant lydniveau fra husets installationer ved højere vindhastigheder. Grænseværdien for lavfrekvent støj fra vindmøller er 20 dB(A) og gælder ved 6 m/s og 8 m/s. De målte støjniveauer er ved alle vindhastigheder under denne grænse.

Vindhastighed	Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	-	-	-	-
3 m/s	-	-	46,1	-
4 m/s	-	-	61,3	43,7
5 m/s	57,9	-	56,3	46,7
6 m/s	62,4	67,7	54,7	55,8
7 m/s	64,6	70,1	60,0	44,4
8 m/s	66,7	68,8	60,0	61,0
9 m/s	68,6	69,7	62,8	62,4
10 m/s	70,6	71,1	64,4	62,5
11 m/s	72,1	70,9	65,2	63,9
12 m/s	74,4	70,9	65,3	66,5
13 m/s	75,0	74,7	66,2	-

Tabel 10. Resultater fra bolig C for infralydniveauet L_{pG} , indendørs i dB re 20 μ Pa

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Det er ikke muligt med sikkerhed at konstatere om støjen skyldes vindmøllerne, vindstøj i omgivelserne eller et konstant lydniveau fra husets installationer. Infralydniveauerne ligger dog 10 dB eller mere under grænseværdien for infralyd for industristøj på 85 dB(G) fra Orientering nr. 9/1997 fra Miljøstyrelsen for målekampagne 2 og 20 dB eller mere under grænseværdien for målekampagne 3.

Vindhastighed	Målekampagne 2		Målekampagne 3	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
2 m/s	-	-	-	-
3 m/s	-	-	33,4	-
4 m/s	-	-	39,1	33,2
5 m/s	50,8	-	36,4	35,1
6 m/s	51,2	54,9	42,6	35,6
7 m/s	52,8	55,5	47,0	34,1
8 m/s	53,6	53,9	48,6	52,1
9 m/s	55,2	54,4	52,1	53,0
10 m/s	56,2	56,6	53,6	53,9
11 m/s	56,8	56,5	54,3	54,4
12 m/s	58,2	58,0	54,9	55,5
13 m/s	59,1	59,9	56,5	-

Tabel 11. Resultater fra bolig C for L_{A90} , udendørs, PC4 i dB re 20 μ Pa

Støjniveauerne med vindmøllerne i drift og standset er i samme størrelsesorden. Støjen er domineret af vindstøj i vegetationen ved alle vindhastigheder. Det er ikke muligt at drage konklusioner om overholdelse af støjgrænserne i Bekendtgørelse nr. 1736 på baggrund af målingerne.

6.4 Sammenhæng til vindretning

Det har ikke været muligt at opnå tilpas variation i vindretning under målingerne, til at kunne konkludere noget om dennes betydning for støjen hos naboerne. Under målekampagne 1 lå bolig A i medvindsretning og bolig B i modvind. Under denne målekampagne blev der kun opnået resultater ved lav vind. På grund af høj baggrundsstøj ved bolig A, er det ikke muligt at se en sammenhæng af resultaterne til vindretningen.

6.5 Sammenhæng til dag/nat forhold

For at undersøge om støjen fra vindmøllerne om natten adskiller sig fra støjen i dagtimerne er der lavet bin-analyser i de to tidsperioder. Der gælder ingen særlige støjgrænser for vindmøller i natperioden. Det er valgt at definere natperioden mellem kl. 22:00 og kl. 07:00. Dette tidsinterval svarer til definitionen af natperioden i forhold til virksomhedsstøj. Grundet dominerende baggrundsstøj under hele målingen ved bolig C under målekampagne 2 er kun dag/nat resultaterne fra målekampagne 3 vist.

6.5.1 Resultater fra bolig A

I **Tabel 12** til **Tabel 15** er resultaterne fra målekampagne 3 i og ved bolig A anført for henholdsvis dag og nat perioden. Der er ikke anført værdier for baggrundsstøjen for alle vindhastigheder, da der kun har været kortvarige perioder med alle vindmøller standset.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	19,4	-	19,4	-
4 m/s	19,4	-	19,4	19,3
5 m/s	19,5	-	19,4	19,3
6 m/s	20,1	-	19,6	19,3
7 m/s	20,7	21,2	19,8	19,3
8 m/s	20,8	20,7	20,0	-
9 m/s	20,9	20,8	20,1	-
10 m/s	20,9	20,7	20,1	-
11 m/s	20,9	20,6	20,2	-
12 m/s	21,1	20,3	20,2	-
13 m/s	21,4	-	-	-

Tabel 12. Resultater fra bolig A, målekampagne 3, for L_{A90} , indendørs i dB re $20\mu\text{Pa}$.

Resultaterne er domineret af baggrundsstøj, og der kan ikke ses forskel på niveauerne i dag- og natperioden.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	3,0	-	3,9	-
4 m/s	3,5	-	3,6	2,8
5 m/s	4,4	-	4,6	2,9
6 m/s	4,0	-	7,0	2,8
7 m/s	12,9	13,2	8,8	2,8
8 m/s	12,8	12,8	9,7	-
9 m/s	13,6	12,1	10,1	-
10 m/s	14,0	12,9	10,4	-
11 m/s	14,4	13,4	10,4	-
12 m/s	15,4	11,5	11,8	-
13 m/s	16,3	-	-	-

Tabel 13. Resultater fra bolig A, målekampagne 3, for det lavfrekvente støjniveau L_{pA,LF}, indendørs i dB re 20µPa

Resultaterne viser en svag tendens til lavere lavfrekvente støjniveauer i natperioden i størrelsesordenen 0 – 3 dB. Der skal dog et større datagrundlag til for at verificere denne tendens.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	45,8	-	48,0	-
4 m/s	48,2	-	48,1	47,9
5 m/s	54,8	-	50,7	47,1
6 m/s	60,3	-	56,3	46,4
7 m/s	62,5	62,4	59,5	46,0
8 m/s	62,8	60,5	60,7	-
9 m/s	63,2	59,9	61,0	-
10 m/s	63,2	61,0	61,1	-
11 m/s	63,4	61,0	61,2	-
12 m/s	64,0	59,6	61,5	-
13 m/s	64,5	-	-	-

Tabel 14. Resultater fra bolig A, målekampagne 3, for infralydniveauet L_{pG}, indendørs i dB re 20µPa

Resultaterne viser en svag tendens til lavere infralydniveauer i natperioden i størrelsesordenen 0 – 3 dB. Der skal dog et større datagrundlag til for at verificere denne tendens.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	35,4	-	37,6	-
4 m/s	36,4	-	36,5	34,5
5 m/s	38,3	-	38,1	34,0
6 m/s	38,4	-	42,1	35,1
7 m/s	49,4	52,7	45,3	35,4
8 m/s	50,5	50,7	46,2	-
9 m/s	50,7	51,7	47,1	-
10 m/s	51,0	50,4	47,7	-
11 m/s	50,9	50,0	48,3	-
12 m/s	51,3	47,8	47,1	-
13 m/s	52,3	-	-	-

Tabel 15. Resultater fra bolig A, målekampagne 3, for L_{A90} , udendørs, PA4 i dB re 20µPa

Resultaterne viser en svag tendens til lavere udendørs støjniveauer i natperioden i størrelsesordenen 0 – 3 dB. Det udendørs støjniveau er dog domineret af baggrundsstøj og forskellen forventes at skyldes forskelle i baggrundsstøjen.

6.5.2 Resultater fra bolig C

I **Tabel 16** til **Tabel 19** er resultaterne fra målekampagne 3 i og ved bolig C anført for henholdsvis dag og nat perioden. Der er ikke anført værdier for baggrundsstøjen for alle vindhastigheder, da der kun har været kortvarige perioder med alle vindmøller standset. Af **Tabel 17** og **Tabel 18** ses en antydning af at den lavfrekvente støj falder ved vindhastigheder mellem 6 m/s og 8 m/s i nattetimerne. Det kan skyldes, at der om natten er en højere vind shear (større relativ forskel mellem vindhastigheden i navhøjde og i 10 m højde) end om dagen. Støjniveauerne er dog så lave, at det er mere sandsynligt at baggrundsstøj kan have betydning for resultaterne. Vindhastigheden i tabellerne er baseret på vindhastigheden i navhøjde ved vindmøllerne.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	18,2	-	-	-
4 m/s	18,1	-	18,0	17,9
5 m/s	-	-	18,0	18,0
6 m/s	18,9	-	18,0	18,0
7 m/s	18,4	-	18,0	18,0
8 m/s	18,4	18,5	18,1	-
9 m/s	18,6	18,6	18,2	-
10 m/s	18,7	18,7	18,4	-
11 m/s	18,8	18,9	18,4	-
12 m/s	19,0	19,0	18,5	-
13 m/s	19,3	-	19,3	-

Tabel 16. Resultater fra bolig C, målekampagne 3, for L_{A90} , indendørs i dB re 20µPa.

Resultaterne er domineret af baggrundsstøj, og der kan ikke ses forskel på niveauerne i dag- og natperioden.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	2,5	-	-	-
4 m/s	10,5	-	-2,3	-5,6
5 m/s	-	-	9,9	-2,7
6 m/s	12,2	-	0,0	4,4
7 m/s	12,8	-	4,0	-3,7
8 m/s	10,2	7,6	3,9	-
9 m/s	10,0	9,3	11,1	-
10 m/s	11,1	9,2	10,9	-
11 m/s	11,2	10,9	14,2	-
12 m/s	11,6	12,6	7,9	-
13 m/s	13,0	-	13,0	-

Tabel 17. Resultater fra bolig C, målekampagne 3, for det lavfrekvente støjniveau $L_{pA,LF}$, indendørs i dB re 20 μ Pa

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	52,4	-	-	-
4 m/s	57,5	-	45,8	43,7
5 m/s	-	-	56,4	46,7
6 m/s	65,7	-	53,3	55,8
7 m/s	64,7	-	56,8	44,4
8 m/s	62,7	61,0	57,6	-
9 m/s	62,8	62,4	62,9	-
10 m/s	64,4	62,5	64,4	-
11 m/s	65,0	63,9	68,8	-
12 m/s	65,3	66,5	61,8	-
13 m/s	66,2	-	66,2	-

Tabel 18. Resultater fra bolig C, målekampagne 3, for infralydniveauet L_{pG} , indendørs i dB re 20 μ Pa

Resultaterne er domineret af baggrundsstøj, og der kan ikke ses forskel på niveauerne i dag- og natperioden.

Vindhastighed	Dag		Nat	
	Totalstøj	Baggrundsstøj	Totalstøj	Baggrundsstøj
3 m/s	45,8	-	-	-
4 m/s	41,5	-	35,1	33,2
5 m/s	-	-	36,4	35,1
6 m/s	53,1	-	41,5	35,6
7 m/s	50,6	-	45,1	34,1
8 m/s	51,3	52,1	46,4	-
9 m/s	52,9	53,0	49,4	-
10 m/s	53,8	53,9	50,8	-
11 m/s	54,4	54,4	49,7	-
12 m/s	54,9	55,5	51,3	-
13 m/s	56,5	-	56,5	-

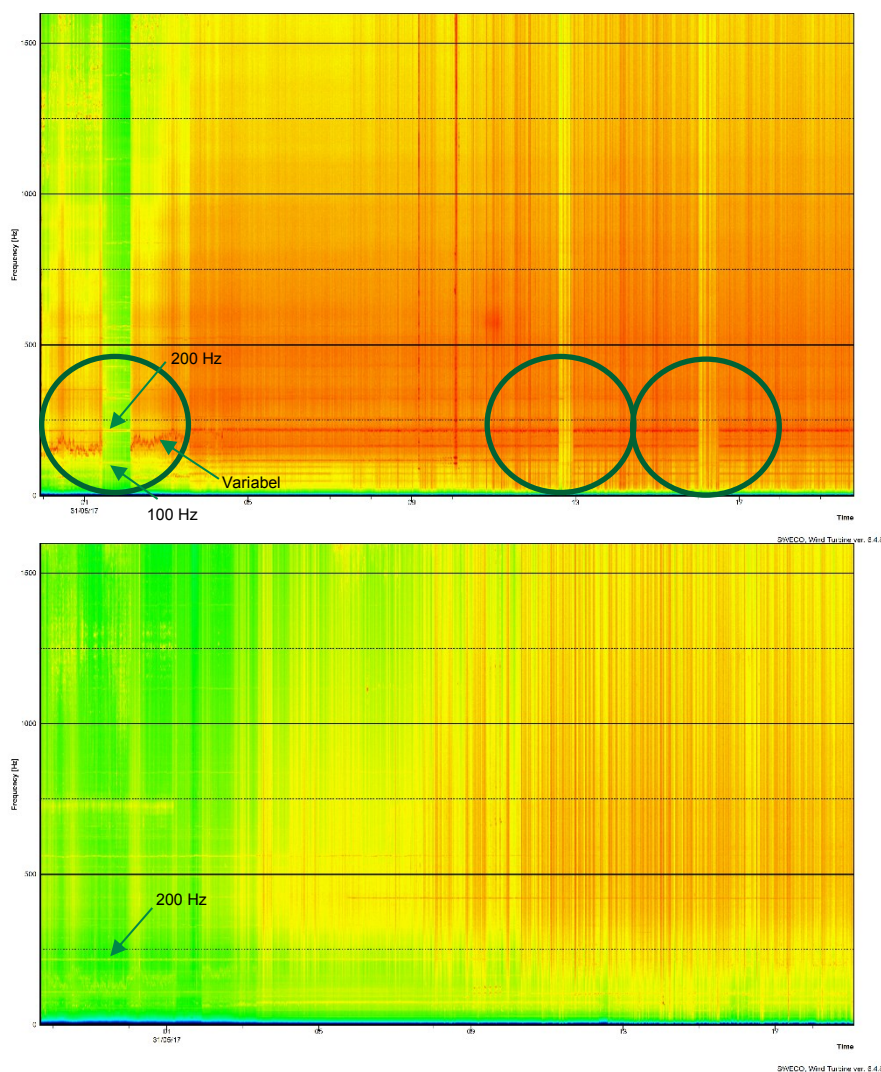
Tabel 19. Resultater fra bolig C, målekampagne 3, for L_{A90} , udendørs, PC4 i dB re 20µPa

Resultaterne viser en svag tendens til lavere udendørs støjniveauer i natperioden i størrelsesordenen 0 – 3 dB. Det udendørs støjniveau er dog domineret af baggrundsstøj og forskellen forventes at skyldes forskelle i baggrundsstøjen.

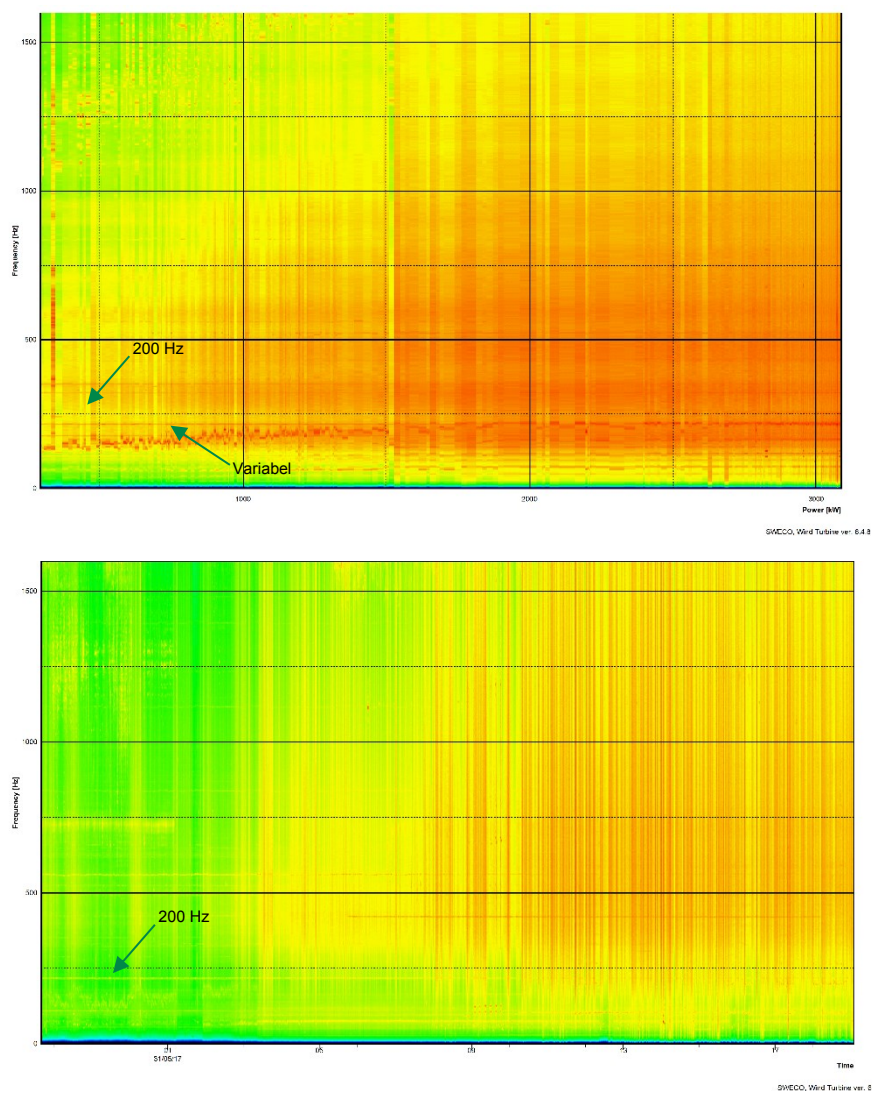
6.6 Indhold af toner

Der er foretaget analyse af indhold af hørbare toner i støjen i P1-P3 og P4 for alle målingerne. Derudover er der foretaget analyse af toner i støjen ved P5 for målekampagne 3, for at bekræfte at tonerne stammer fra vindmøllen. Ud fra tidsspektrogrammer og RPM spektrogrammer er der identificeret 3 toner, der stammer fra vindmøllerne. Det drejer sig om to toner med konstant frekvens; en ved 100 Hz samt 200 Hz. Dette er i overensstemmelse med målerapport P6.017.13 af 20. juni 2013 fra Acoustica, der er udført i forbindelse med dokumentation af støj fra vindmølleparken. Disse toner er uafhængige af møllens drift, og stammer sandsynligvis fra hjælpeudstyr i vindmøllen, fx en blæser. Derudover ses en tone der varierer i frekvens fra ca. 100 Hz ved lave vindhastigheder til knap 200 Hz ved høje vindhastigheder. Eksempler på spektrogram er vist i Figur 19. Farveskalaen på spektrogrammerne er autoskaleret for at vise flest mulige detaljer og viser ikke absolutte niveauer. Spektrogrammet tæt på vindmøllerne viser tydeligt de 2 toner omkring 100 Hz og under 200 Hz, som er koblet til vindmøllerne. I perioden, hvor vindmøllerne var standset er tonerne stadig svagt tilstede, hvilket bekræftet formodningen om at de stammer fra en køleblæser, der fortsætter med køling efter stop af vindmøllen.

Toneanalyserne viser, at der er indhold af tydeligt hørbare toner i støjen ved lave vindhastigheder. For tonerne ved 100 Hz til 200 Hz gælder, at de også kan findes i støjen indendørs. Tonerne fremtræder tydeligst ved lave vindhastigheder under 6 – 8 m/s hvor der er mindre maskerende støj fra vinden. Ved standard vindhastighederne 6 – 8 m/s og højere er tonerne ikke tydeligt hørbare.



Figur 19 Tidsspektrogram for bolig A, målekampagne 3. Perioden, hvor vindmøllerne er standset er markeret. Øverst: Udendørs måling tæt på møllen. Nederst: Udendørs måling ved naboen.



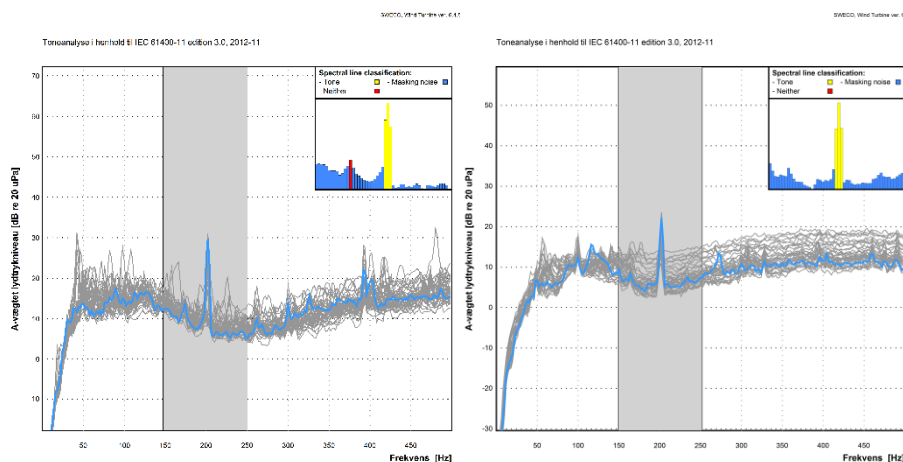
Figur 20 Effektspektrogram for bolig A, målekampagne 3. Øverst: Udendørs måling tæt på møllen. Nederst: Udendørs måling ved naboen.

I **Tabel 20** er resultaterne for toneanalysen ved bolig A for den tydeligste tone ved 200 Hz vist. Tonaliteten indendørs er sammenlignelig med tonaliteten udendørs (5,8 dB indendørs; 6,1 dB udendørs ved 2,5 m/s). Ved 2,5 m/s vil tonaliteten udløse et genetillæg på 5 dB, men allerede ved 4,5 m/s er tonaliteten under kriteriet for tildeling af genetillæg. Også de øvrige toner er tydeligere ved lave vindhastigheder end ved høje vindhastigheder, men i det pågældende tilfælde uden at give anledning til genetillæg. Dette er i overensstemmelse med målerapport P6.017.13, hvor det konstateres, at tonerne ikke er tydeligt hørbare tæt på vindmøllerne ved vindhastigheder mellem 6 m/s og 8 m/s.

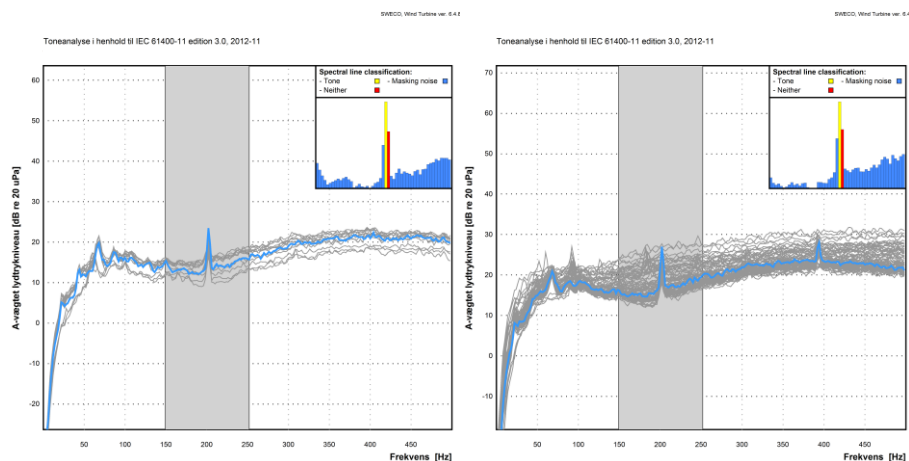
I Figur 21 og Figur 22 er spektrene bagved toneanalyserne vist. Figureerne viser dels det udvalgte spektrum til toneanalysen (blå), dels de øvrige spektre ved den pågældende vindhastighed (grå) samt i det lille vindue hvorledes de enkelte linjer i spektret er klassificeres som tone, maskering og hverken/eller.

Vindhastighed i 10 m højde	Frekvens [Hz]	Tonalitet ΔL_{ta} [dB]
2,5 m/s	202	6,1
4,5 m/s	202	1,0
6,5 m/s	202	-5,9
9,5 m/s	202	Ingen

Tabel 20. Tonalitet angivet som ΔL_{ta} ved forskellige vindhastigheder.



Figur 21. Udendørs ved nabo A (10 m vind): Til venstre 2,5 m/s (målekampagne 1) og til højre 4,5 m/s (målekampagne 3).

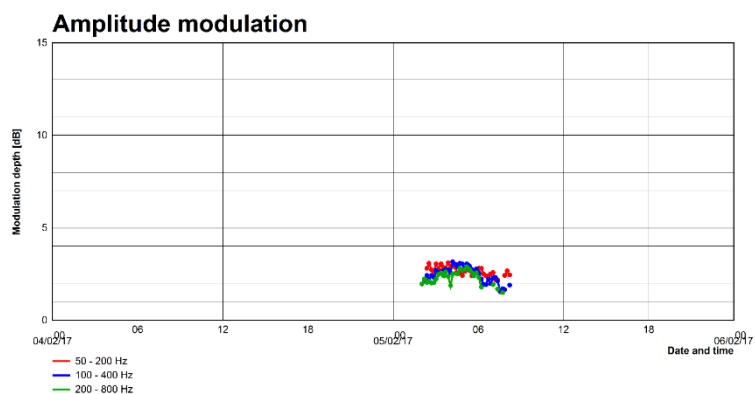


Figur 22. Udendørs ved nabo A (10 m vind): Til venstre 6,5 m/s (målekampagne 3) og til højre 9,5 m/s (målekampagne 3).

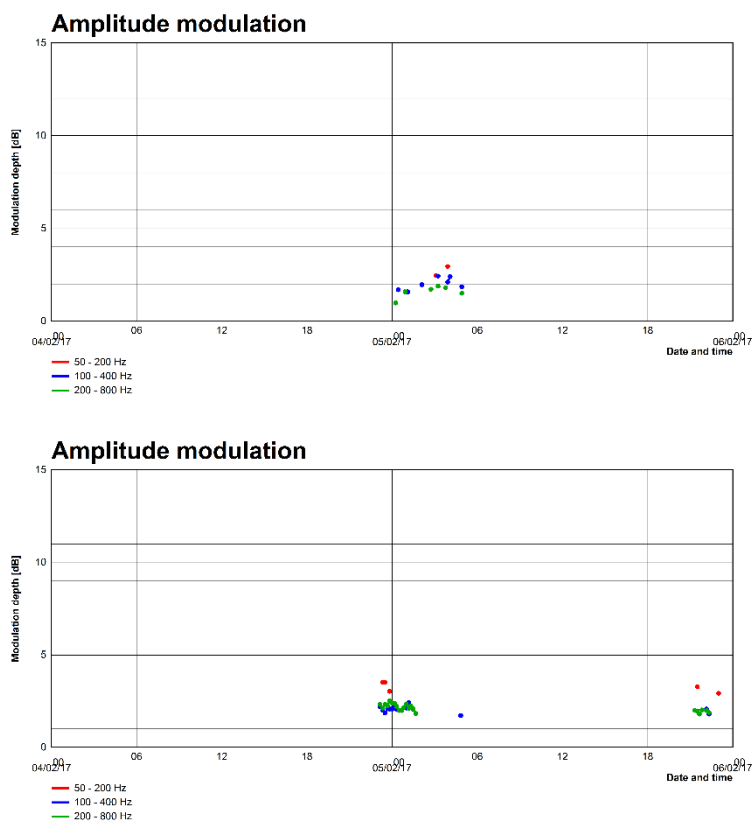
6.7 Amplitudemodulation

Vindmøllestøj er domineret af en karakteristisk periodisk lyd. I nogle tilfælde er denne periodiske lyd så kraftig at det vurderes at den er generende. Der er i forbindelse med målingerne foretaget analyse af om der optræder amplitudemodulation i støjen fra vindmøllerne. Analyserne er lavet i henhold til metoden publiceret af Institute of Acoustics i Storbritannien af 9. april 2016.

Samtlige målinger er analyseret for amplitudemodulation og der kan konstateres amplitudemodulation i målingerne tæt på vindmøllerne som vist nedenfor i Figur 23. Modulations dybden er mellem 2 og 3 dB. Eneste tilfælde med amplitudemodulation ved boligen er vist i Figur 24. Modulations dybden er 2-3 dB.



Figur 23. Eksempel på måling af amplitudemodulation. Resultaterne er fra P5 tæt på vindmøllerne i målekampagne 2. Kurverne viser hvornår metoden giver udslag for de 3 frekvensområder i metoden, samt hvor kraftig amplitudemodulationen er i form af modulations dybden.



Figur 24. Analyse af amplitudemodulation for P4 øverst og P5 nederst for bolig A fra målekampagne 3. Amplitudemodulation optræder ikke helt samtidigt i de 2 målepositioner selvom der er et vist overlap. I måleposition 4 optræder AM i enkelte 10 minutters perioder mellem midnat og solopgang, mens det i P5 tættere på vindmøllerne er en sammenhængende periode i nogle timer omkring midnat.

Analyserne viser svag forekomst af amplitudemodulation ved bolig A udendørs. Modulationsdybden er i størrelsesordenen 2 – 3 dB. Kriterier for hvornår amplitudemodulation bør give anledning af et genetillæg er endnu ikke fastlagt, men modulationsdybder over 3 dB er på tale. Det vurderes ud fra målingerne, at der ikke forekommer amplitudemodulation i en grad, der er af betydning for oplevelsen af støjen fra vindmøllerne.

7. Usikkerhed

I Miljøstyrelsens vejledning 6 fra 1984 "Måling af støj fra virksomheder" er der gjort nogle overvejelser om usikkerheden på støjmålinger. For lavt placerede støjkluder anslås usikkerheden til at være i størrelsesordenen 4 til 5 dB i afstande relevante for de gennemførte støjmålinger. Med højtplacerede støjkluder som vindmøller vil det være rimeligt, at antage at usikkerheden kun er halvt så stor. Den udvidede usikkerhed bliver så i størrelsesordenen 3-4 dB, for de udendørs støjniveauer og større for de indendørs støjniveauer.

I forbindelse med målingerne er der gennemført målinger i bolig A 3 gange. Hvis man sammenligner resultaterne fra disse målinger kan man principielt anslå usikkerheden ved at se på middelværdi og spredning for vindhastigheder, der er repræsenteret ved alle 3 målinger. Som det kan ses i **Tabel 3** til Figur 6 er resultaterne dog kraftigt påvirket af baggrundsstøj og det er ikke muligt at anslå usikkerheden på målemetoden ud fra disse målinger.

8. Grænseværdier

I Bekendtgørelse nr. 1736 af 21/12-2015 "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller" er der i § 4. anført følgende:

Den samlede støjbelastning fra vindmøller må ikke overstige følgende grænseværdier:

1) I det mest støjbelastede punkt ved udendørs opholdsarealer højst 15 meter fra beboelse i det åbne land:

a) 44 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.

b) 42 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.

2) I det mest støjbelastede punkt i områder til støjfølsom arealanvendelse:

a) 39 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.

b) 37 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.

Stk. 2. Den samlede lavfrekvente støj fra vindmøller må indendørs i beboelse i det åbne land eller indendørs i områder til støjfølsom arealanvendelse ikke overstige 20 dB ved en vindhastighed på 8 m/s og 6 m/s.

Stk. 3. Grænseværdierne i stk. 1 og 2 gælder ikke for vindmølle ejerens beboelse.

Stk. 4. Grænseværdierne i stk. 1 og 2 gælder ikke for et midlertidigt opholdssted for flygtninge, ligesom opholdsstedet i øvrigt er uden betydning for vurdering af støj fra vindmøller, hvis kommunalbestyrelsen har meddelt dispensation efter § 5 u, stk. 1, eller tilladelse efter § 5 u, stk. 1-3, i lov om planlægning, der muliggør etablering af et opholdssted på et støjbelastet areal.

Det har ikke i alle tilfælde været muligt at sammenligne måleresultaterne med grænseværdierne idet støjen ved boligerne er kraftigt påvirket af baggrundsstøj undtagen ved lave vindhastigheder under 6 m/s. Det kan dog konstateres, at den lavfrekvente støj indendørs ligger under støjgrænsen på 20 dB helt generelt. For den indendørs infralyd ligger måleresultaterne inklusive baggrundsstøj 10 dB eller mere under grænseværdien for infralyd for industristøj på 85 dB(G) fra Orientering nr. 9/1997 fra Miljøstyrelsen.

9. Kommentarer

Der er gennemført 3 serier af målinger omkring vindmølleparken ved Vildbjerg. I forbindelse med gennemførelsen har det vist sig at være vanskeligt at opnå så stor en variation i vindretningerne som oprindeligt ønsket. Da der er foretaget målinger både øst og vest for vindmølleparken er dette dog ikke af større betydning. Det er lykket at opnå et solidt datagrundlag for et stort vindhastighedsområde. Selve målekampagnen har strakt sig over en længere periode end planlagt. Dette skyldes i et vist omfang, at planlægningen har skullet tage hensyn til beboerne af boligerne hvor målingerne er foretaget. Selv et varsel på ganske få dage har kunnet medføre at vejrforholdene ændrede sig i forhold til det ønskede. Den aktive måleperiode har været begrænset af hvornår der har kunnet opnås adgang til boligerne. Der er gennemført målinger 3 gange i samme bolig, hvilket kunne give mulighed for at vurdere reproducerbarheden af denne type af målinger. De pågældende målinger er dog så kraftigt påvirket af støj fra andre støjklender at der ikke kan konkluderes på usikkerheden på målingerne.

Målingerne er lavet i beboede boliger. Det har således ikke været muligt at slukke for strømmen, standse mekaniske ure og lignende, som det ellers gøres når der udføres støjmålinger indendørs over kortvarige perioder. Dette har naturligvis indflydelse på resultaterne idet baggrundsstøjen i boligerne bliver i samme størrelsesorden som den støj der skal undersøges.

Det har vist sig at være en udfordring at adskille støjen med vindmøllerne i drift fra baggrundsstøjen udendørs ved naboerne. Ofte vil mikrofonen tæt på vindmøllerne kunne stilles fri af vegetation på en åben mark. Dette er ikke altid tilfældet ved boligerne. Ved positionen udendørs hos naboen vil der, foruden støj fra beboernes aktivitet omkring huset, kunne forekomme mere vegetationsstøj fra læhegn, samt støj fra vind i huset og genstande placeret udendørs. Statistiske niveauer har vist sig egnede til at frasortere kortvarige hændelser, men er ikke effektive over for vegetationsstøj, der varierer med vindhastigheden, som også vindmøllestøjen gør. Specielt for bolig C har den udendørs måleposition været kraftigt påvirket af vegetationsstøjen, hvilket kan ses af scatterplots i Bilag 3.5.

Det er ikke lykkedes i denne undersøgelse at afklare om vindretningen har betydning for den oplevede lyd hos naboerne. Med de korte afstande, der indgår i undersøgelsen forventes dog heller ikke en tydelig sammenhæng.

Der er ikke i forbindelse med målingerne konstateret usædvanlige forhold ved vindhastigheder udenfor det normale vindhastighedsområde. Det kan dog konstateres, at toner kan være tydeligt hørbare ved lave vindhastigheder selvom de er vurderet ikke hørbare for standardområdet 6 m/s – 8 m/s.

Overordnet viser de gennemførte målekampagner, at der er vanskeligt at vurdere støjen fra en vindmøllepark gennem direkte målinger ved og i nabobeboelser. Specielt ved boliger med betydelig vegetation. Der er derfor en række betingelser, der skal opfyldes:

- Baggrundsstøjen skal screenes på forhånd, så det kan vurderes om det er realistisk at gennemføre målingerne.
- For at opnå de planlagte meteorologiske forhold under målingerne skal det være muligt at få adgang til boligen med kort varsel.
- Det kan være nødvendigt at slukke for forskellige funktioner i boligen (oliefyr, køleskab, ure, ventilation o. lign.), for at opnå tilstrækkeligt lavt støjniveau fra andre støjklender end vindmøllerne. Da det må antages, at støjen fra vindmøllerne ligger tæt på støjgrænserne anbefales

at baggrundsstøjen ligger mere end 6 dB under støjgrænserne for at opnå en tilstrækkelig sikker bestemmelse af støjbelastningen og at det er relevant at gennemføre målingerne.

- Det vil være nødvendigt med pålidelige målinger af baggrundsstøjen. Det skal således være muligt at standse vindmøllerne i flere og længere perioder.
- Der skal etableres viden, som gør det muligt at anvende statistiske niveauer i stedet for de ækvivalente støjniveauer både for de almindelige støjniveauer og for de lavfrekvente støjniveauer.
- Når der laves dokumentation efter Miljøministeriets Bekendtgørelse er det ikke altid muligt at få dækket det relevante vindhastighedsområde på en dag. Det må forudses, at dette også vil være tilfældet når målingerne laves hos naboerne.
- Data fra vindmøllerne skal være tilgængelige til analyse af målingerne og helst allerede under målingerne. Der kan i den sammenhæng være overvejelser om hvilken vindhastighed, der er gældende (se også bilag 4 Overvejelser om måling af vindhastighed). I denne undersøgelse af data fra en enkelt vindmølle anvendt, men på nogle sites er der forskel på hvilken vind de enkelte vindmøller oplever og dermed kan der opstå tvivl om hvilken vindhastighed, der er repræsentativ.
- Hvis der skal dokumenteres støj ved flere naboer, må det indtil videre være nødvendigt at foretage målingerne i medvind. Dette kan betyde at processen skal gentages flere gange, hvis der er flere boliger i flere retninger i forhold til vindmølleparken.
- Usikkerheden på målingerne må forventes at være 3-4 dB for det udendørs støjniveau og større for det lavfrekvente indendørs støjniveau.

Omkostningerne ved at gennemføre denne type af dokumentation af støjen fra en vindmøllepark vil være væsentligt større end ved dokumentation efter de gældende retningslinjer beskrevet i Miljøministeriets Bekendtgørelse. Det må derudover forventes at tiden, der går fra bestilling til afslutning vil være længere, specielt hvis der er flere boliger, der skal inddrages af dokumentationen til gennemførelse.

I forbindelse med dokumentation af støjen fra vindmølleparken udført i 2013 blev støjbelastningen ved de 3 boliger bestemt til mellem 37 dB(A) og 41 dB(A) på baggrund af Bekendtgørelse 1284, der var gældende på det tidspunkt. De gennemførte målinger giver ikke mulighed for at lave en pålidelig sammenligning med disse værdier. Den lavfrekvente indendørs støj blev i 2013 bestemt til 14 dB(A) til 17 dB(A). Dette er højere end resultaterne af de gennemførte målinger uden korrektion for baggrundsstøj og under støjgrænsen på 20 dB(A) med en god margin. Med hensyn til lavfrekvent støj indendørs ser det således ud til at Bekendtgørelsens metoder giver en god sikkerhed for at støjniveauerne ikke undervurderes.

Bilag 1. Kort over målelokationer

Bilag 1.1 Kort over vindmøllepark og naboer

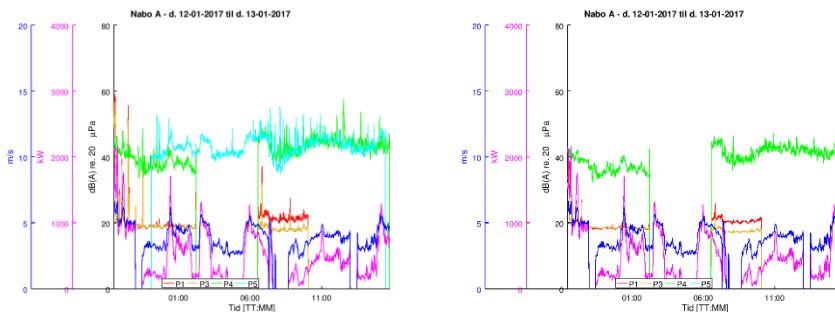


Bilag 2. Tidsserieplots

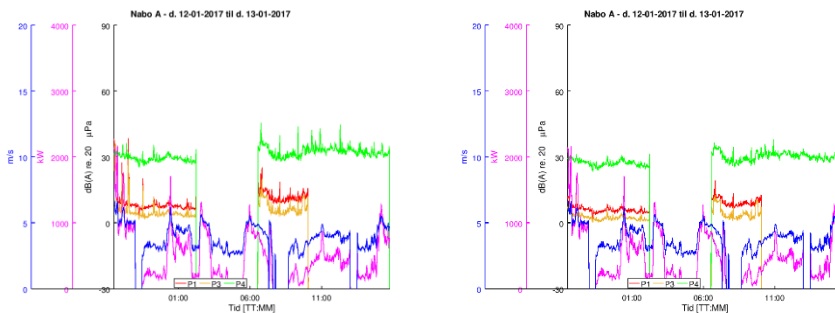
Tidsserieplots viser de målte støjniveauer i 1 minuts intervaller for hele måleperioden. Måleperioden er fra den første målekanal er sat i gang og indtil den sidste målekanal er standset. I plots er vist resultaterne for de 3 indendørs målekanaler, P1, P2 og P3 samt de 2 udendørs målekanaler P4 ved huset og P5 tættere på vindmøllerne. Derudover er vist den producerede effekt fra vindmølle 2 (pink) samt den beregnede vindhastighed ud fra effektmålingen (blå). Det fremgår af målingerne, at vindmøllerne har været standset (effekten er 0) kort varigt i forbindelse med hver enkelt måleserie. Udover tidsserieplots for de ækvivalente støjniveauer er også det statistiske niveau, der er overskredet 90 % af tiden vist.

Bilag 2.1 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1

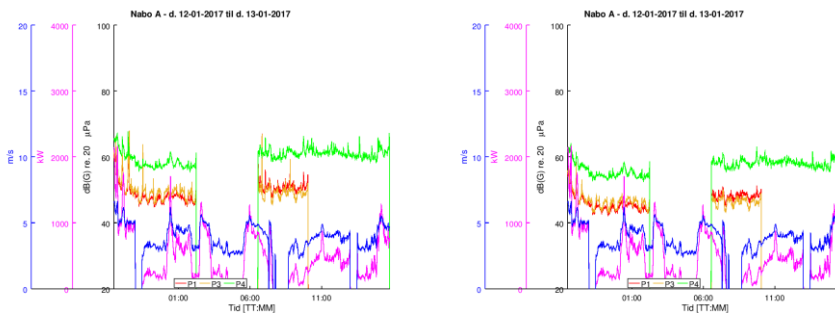
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

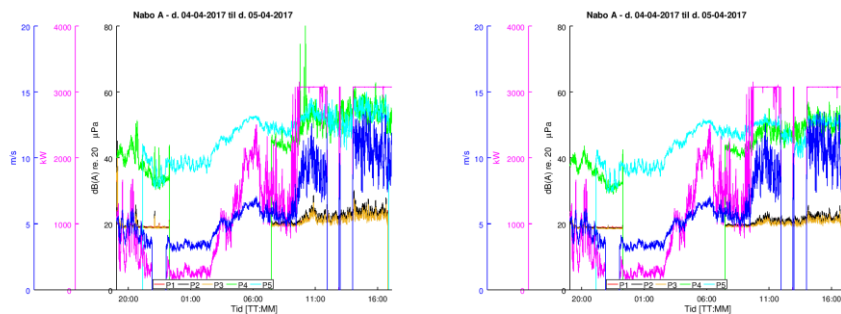


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

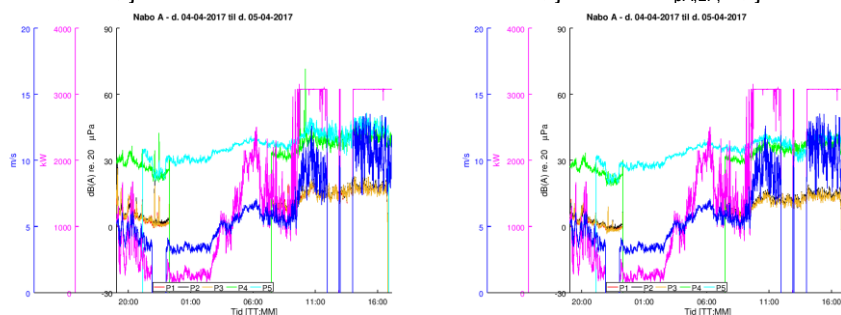


Bilag 2.2 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2

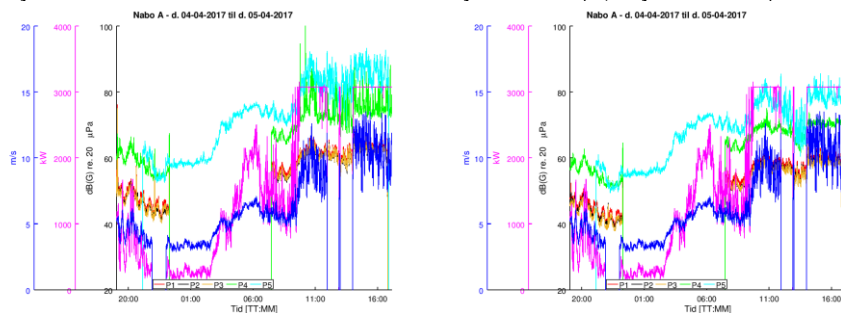
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

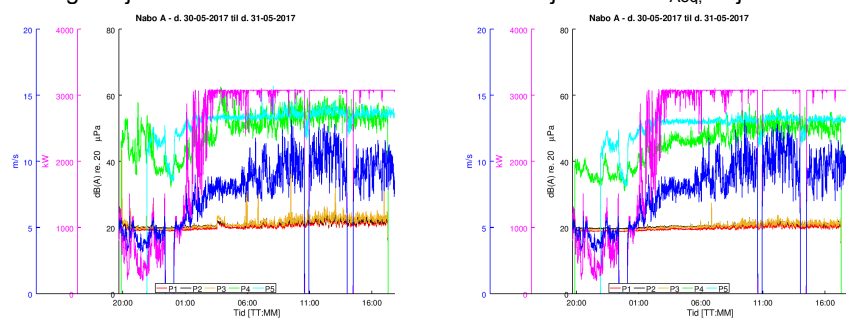


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

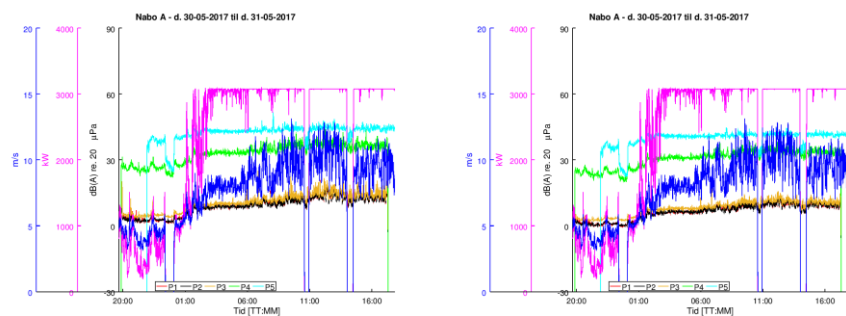


Bilag 2.3 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3

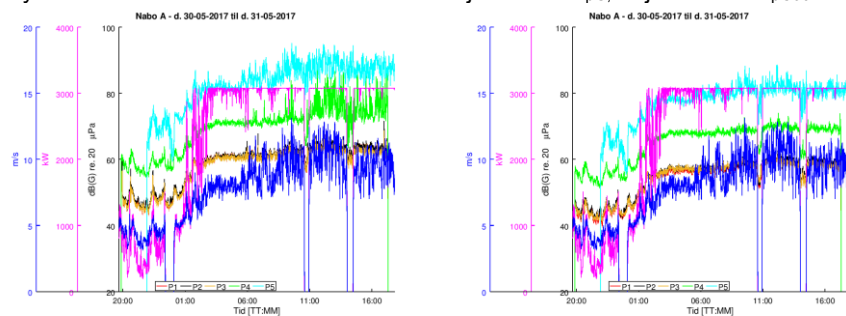
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

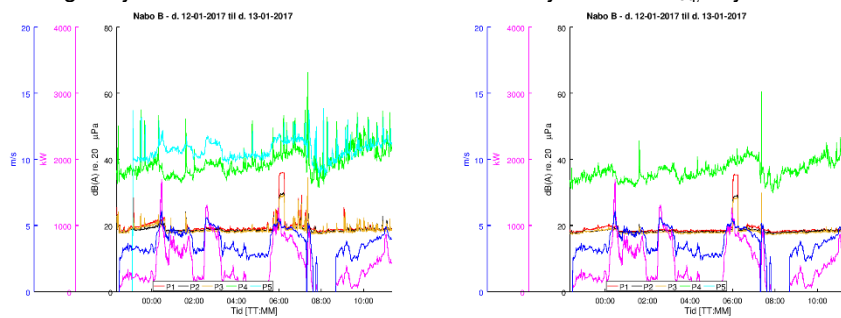


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

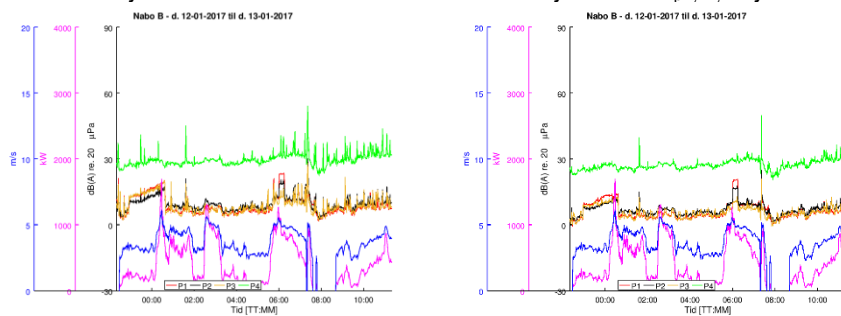


Bilag 2.4 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig B

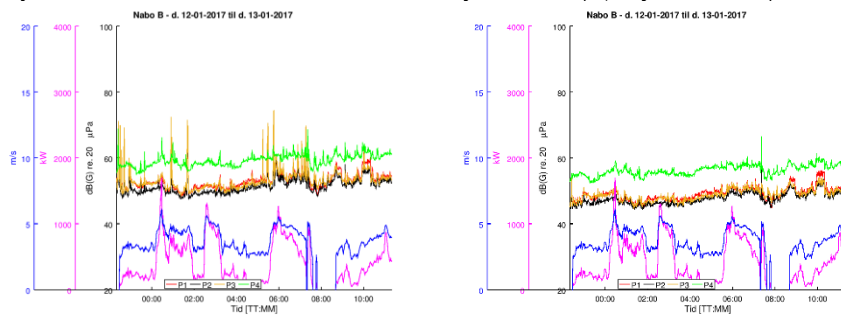
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

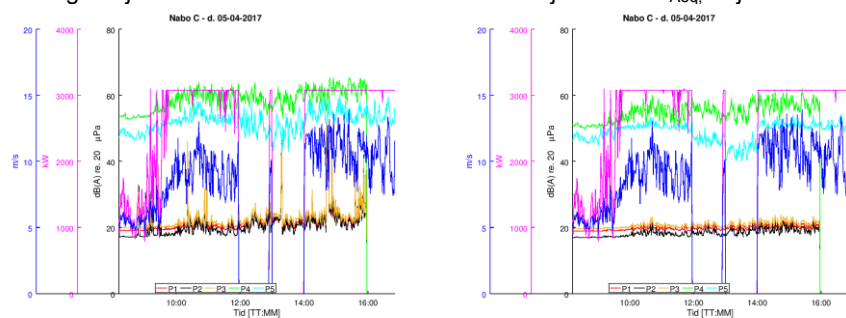


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

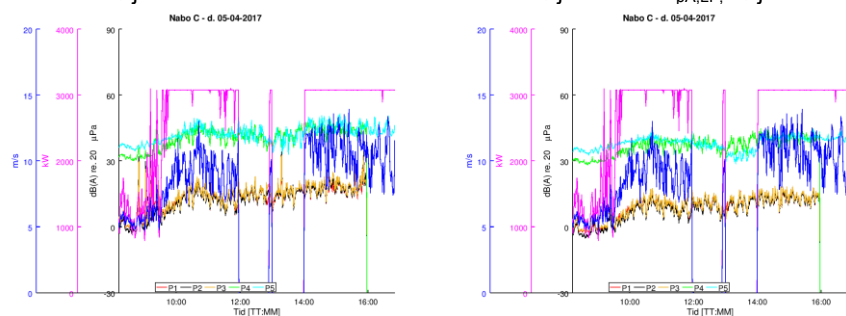


Bilag 2.5 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2

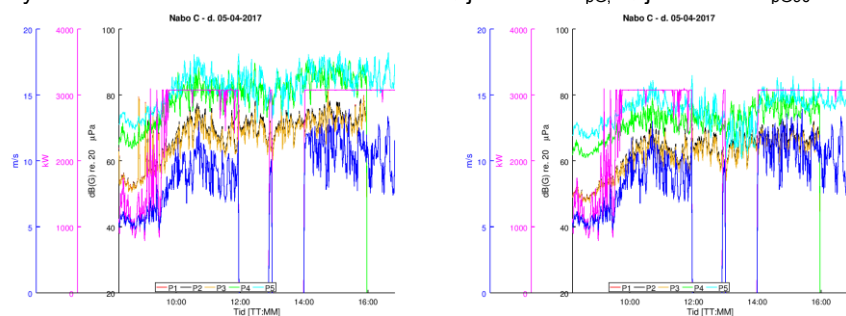
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

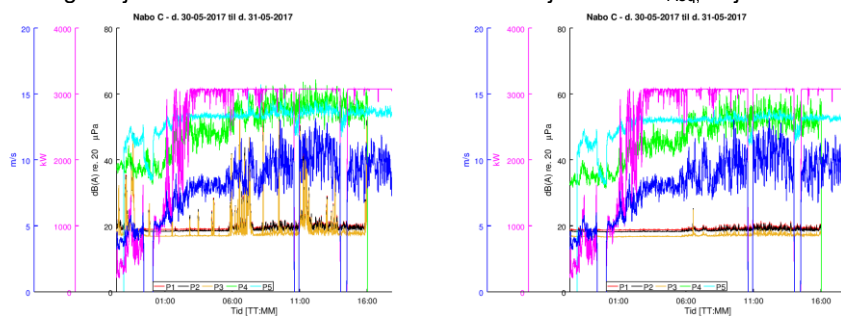


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

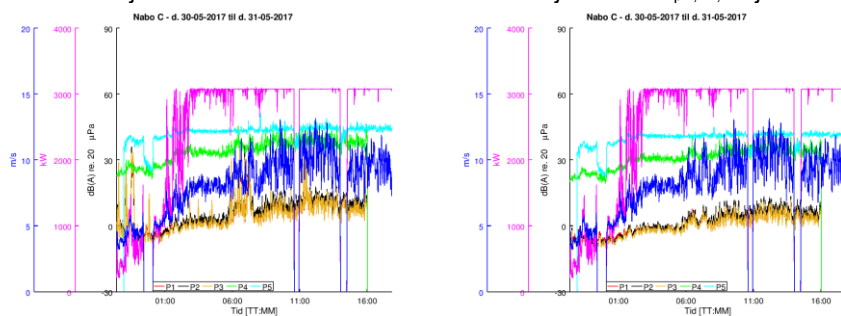


Bilag 2.6 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3

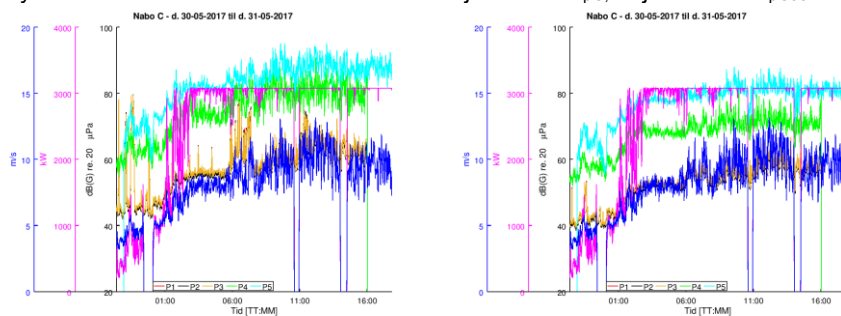
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$



Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

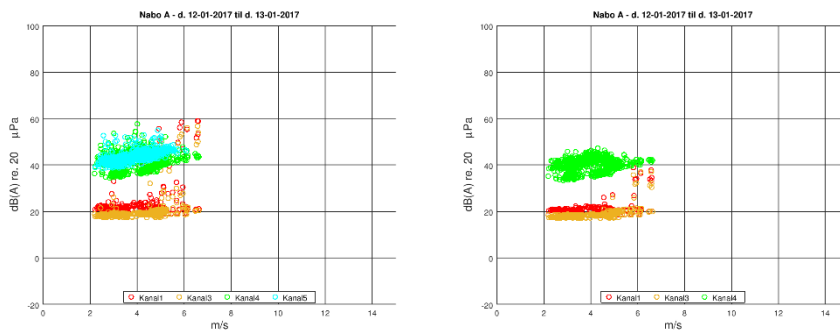


Bilag 3. Scatterplots

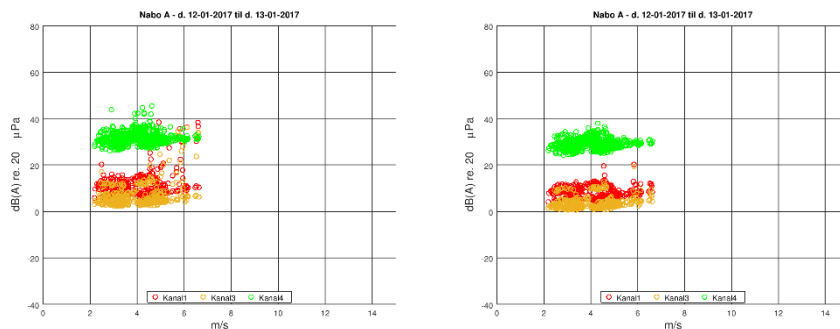
Scatterplots viser måleresultaterne som funktion af vindhastigheden. Formålet med scatterplots er at afklare, om støjen ved naboerne viser samme afhængighed af vindhastigheden som støjen målt tæt på vindmøllerne. Udover **scatterplots** med de ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} og $L_{pA,LF}$ er også de statistiske niveauer L_{A90} og $L_{pA,LF90}$ vist. Scatterplots med de statistiske niveauer eliminerer bidraget fra kortvarige hændelser og giver et mere rent billede. Det kan ses at resultaterne fra P4, udendørs ved boligen og P5 tættere på vindmøllerne viser en sammenhæng til vindhastigheden, specielt når man betragter de statistiske niveauer. Det samme gælder for de lavfrekvente støjniveauer indendørs. Alene ud fra disse plots kan der opnås viden om hvorvidt støjen stammer fra vindmøllerne eller fra andre støjklender i området.

Bilag 3.1 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1

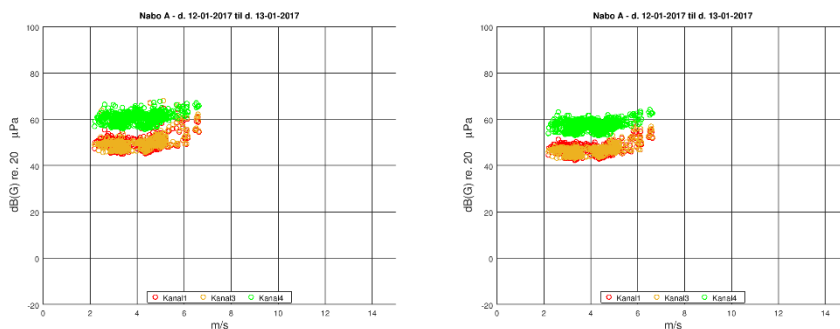
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

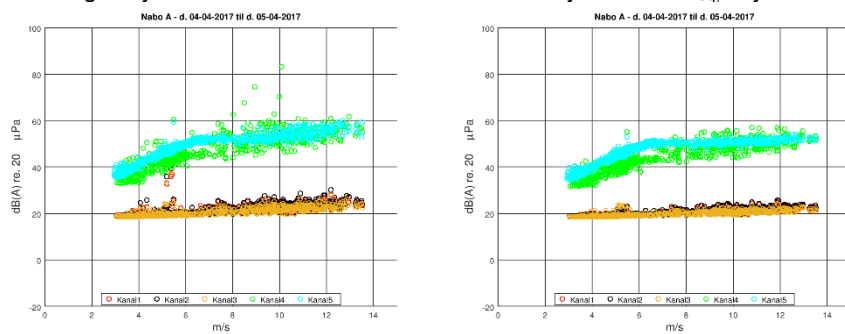


Infrahydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

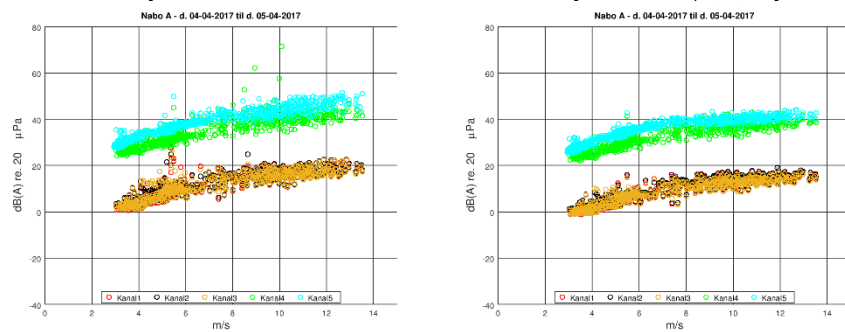


Bilag 3.2 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2

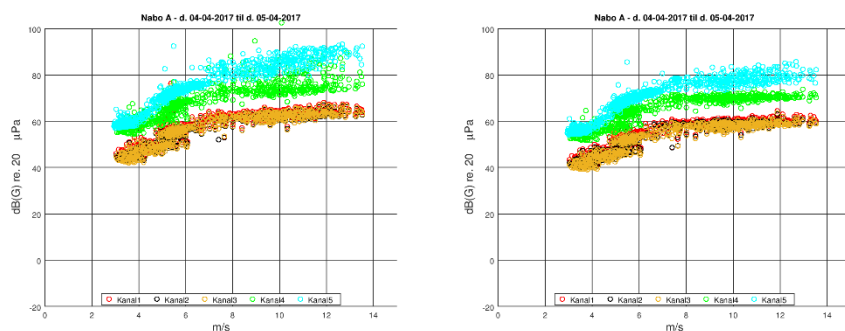
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

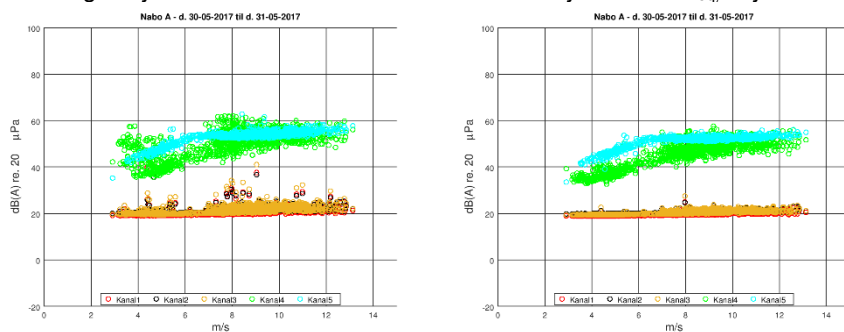


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

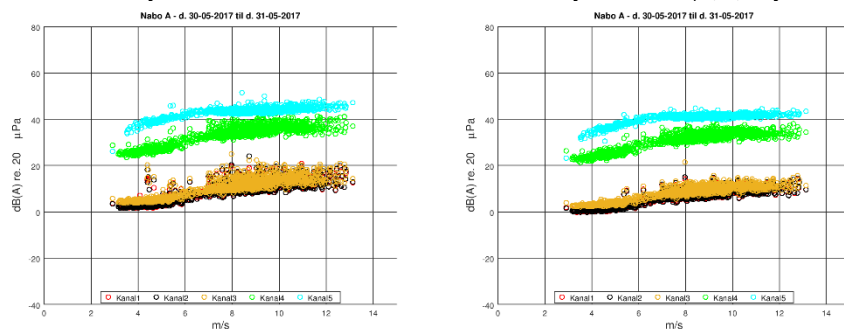


Bilag 3.3 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3

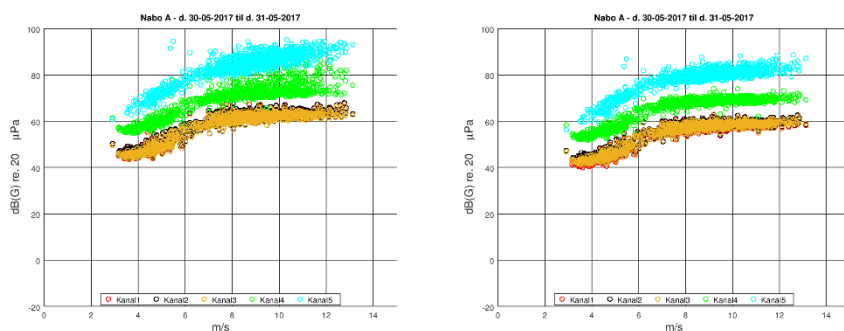
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

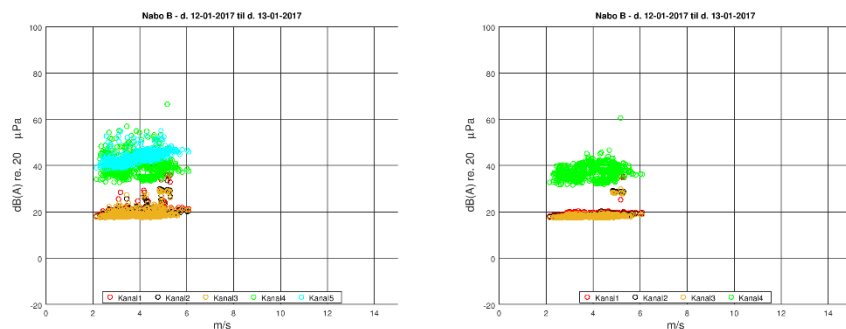


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

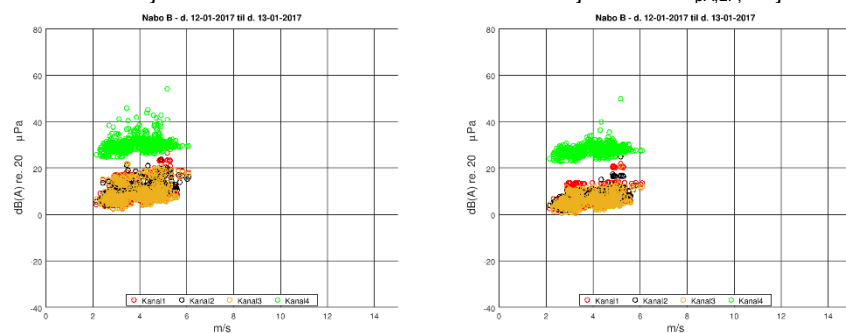


Bilag 3.4 Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1

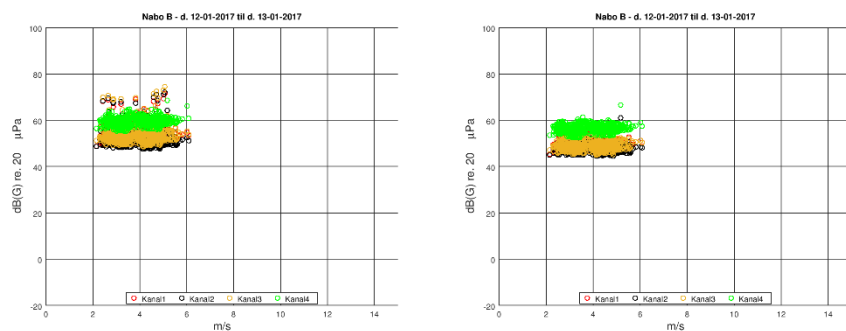
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

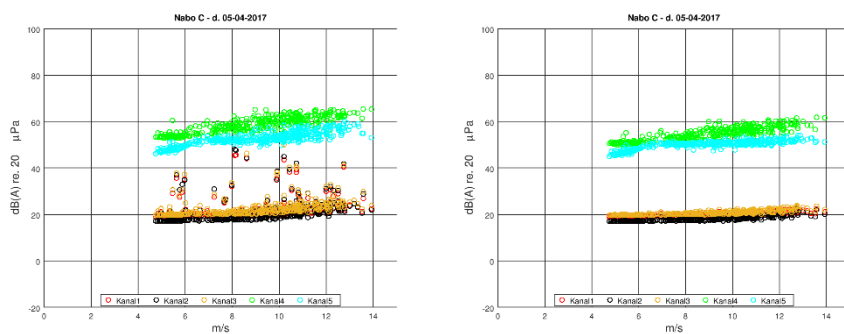


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

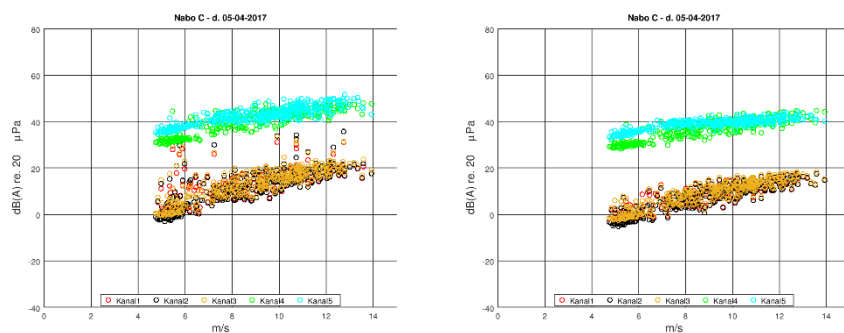


Bilag 3.5 Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2

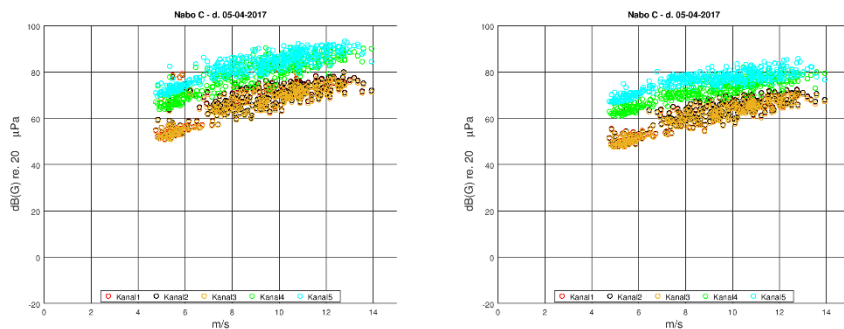
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90} . Bemærk, at støjniveauet ved boligen er højere end støjniveauet tættere på vindmøllerne. Dette indikerer at støjen ved boligen ikke stammer fra vindmøllerne.



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$

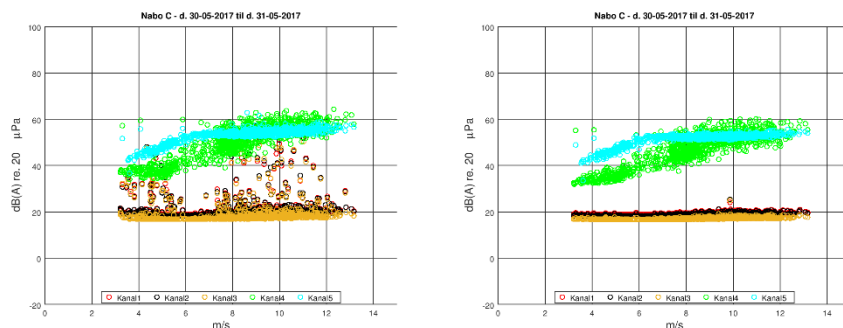


Infrafyldniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

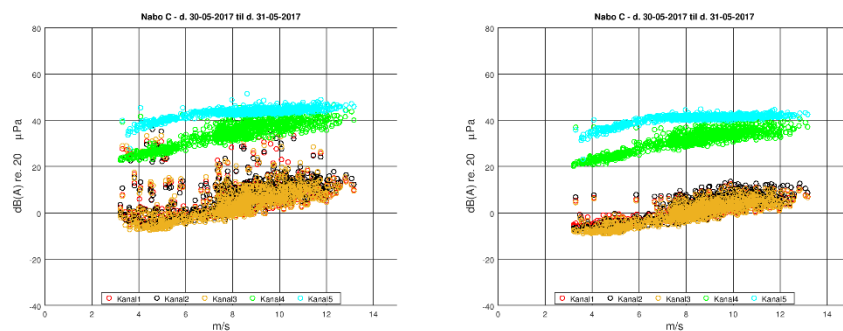


Bilag 3.6 Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3

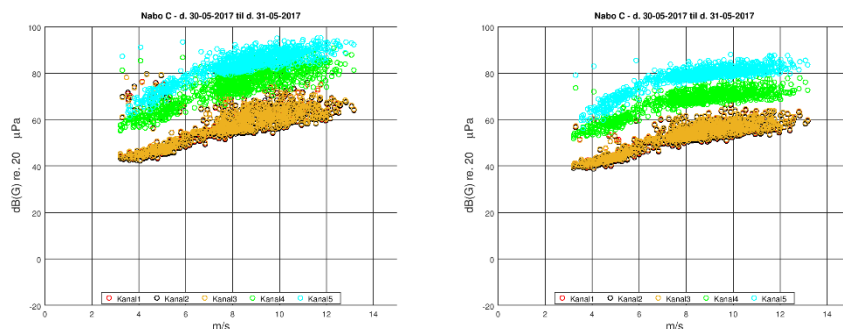
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90} . Bemærk, at støjniveauet ved boligen er højere end støjniveauet tættere på vindmøllerne ved høje vindhastigheder. Dette indikerer at støjen ved boligen ikke stammer fra vindmøllerne når vindhastigheden stiger.



Lavfrekvent støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer $L_{pA,LF}$, højre side er $L_{pA,LF90}$



Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

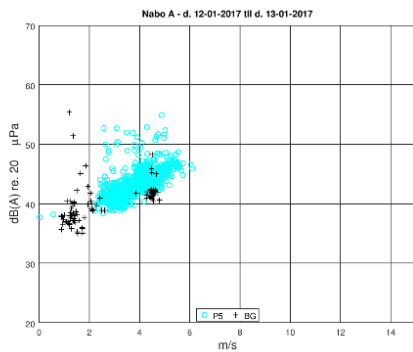


Bilag 4. Scatterplots med baggrundsstøj

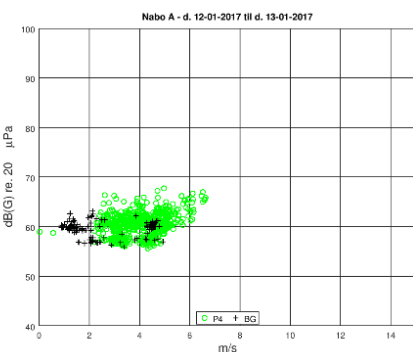
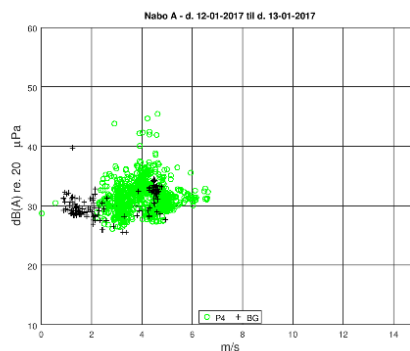
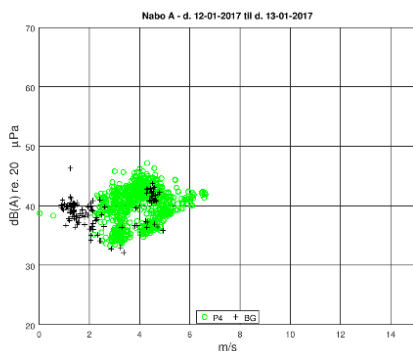
Scatterplots viser måleresultaterne som funktion af vindhastigheden. I figurerne i dette bilag er den målte støj mens møllerne har været slukket markeret med sorte kryds. Formålet er at belyse om støjen ved naboerne stammer fra vindmøllerne. Som vist i bilag 3 stiger støjen fra møllerne med stigende vindhastighed. Figureerne i dette bilag viser at det højere støjniveau ved naboerne ved høj vind i høj grad skyldes mere støj fra vind i vegetation. Det kan ses at resultaterne fra P4, udendørs ved boligen og P5 tættere på vindmøllerne viser en sammenhæng til vindhastigheden, specielt når man betragter de statistiske niveauer. Det samme gælder for de lavfrekvente støjniveauer indendørs. Ved lav vind er det muligt at skelne mellem baggrundsstøj og støjen mens møllerne kører. Ved høj vind er støjen ved naboerne domineret af baggrundsstøj.

Bilag 4.1 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1

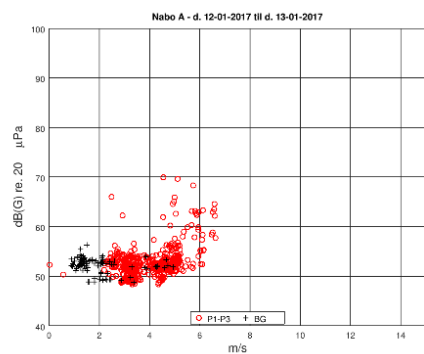
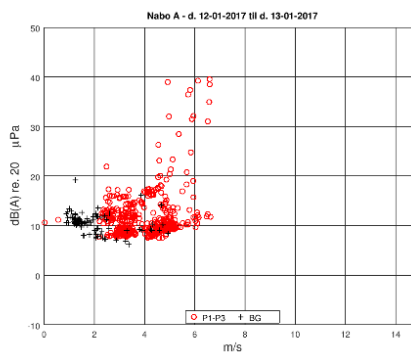
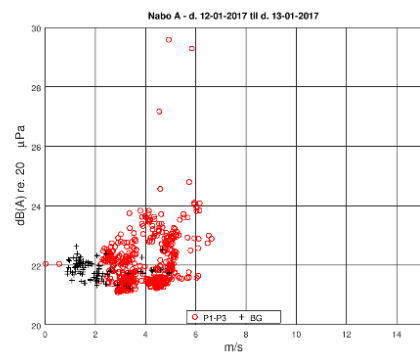
Udendørs støjniveau L_{AEQ} ved vindmøllen.



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

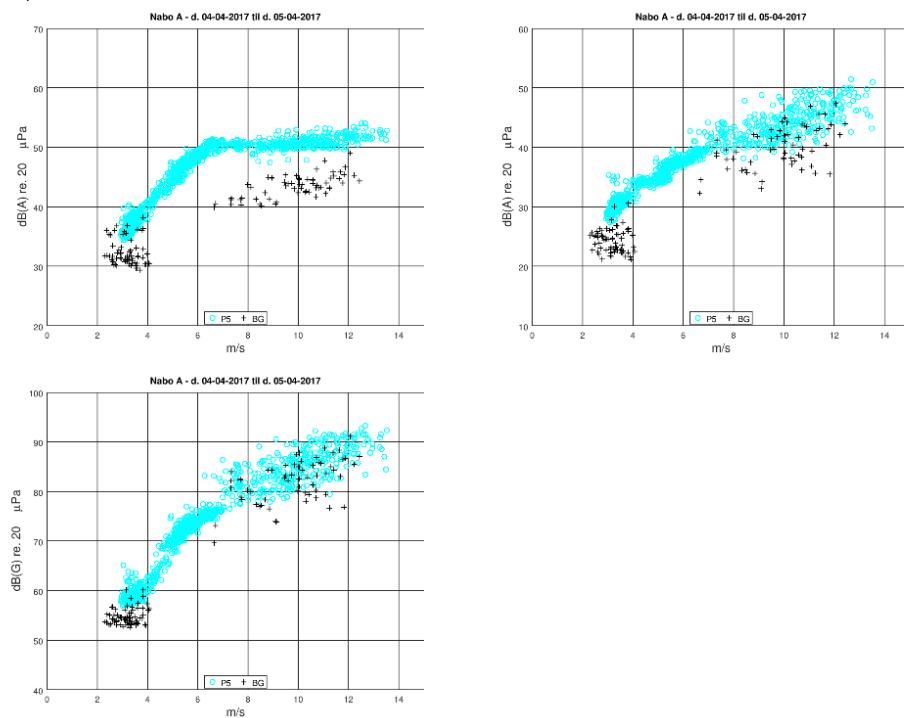


Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

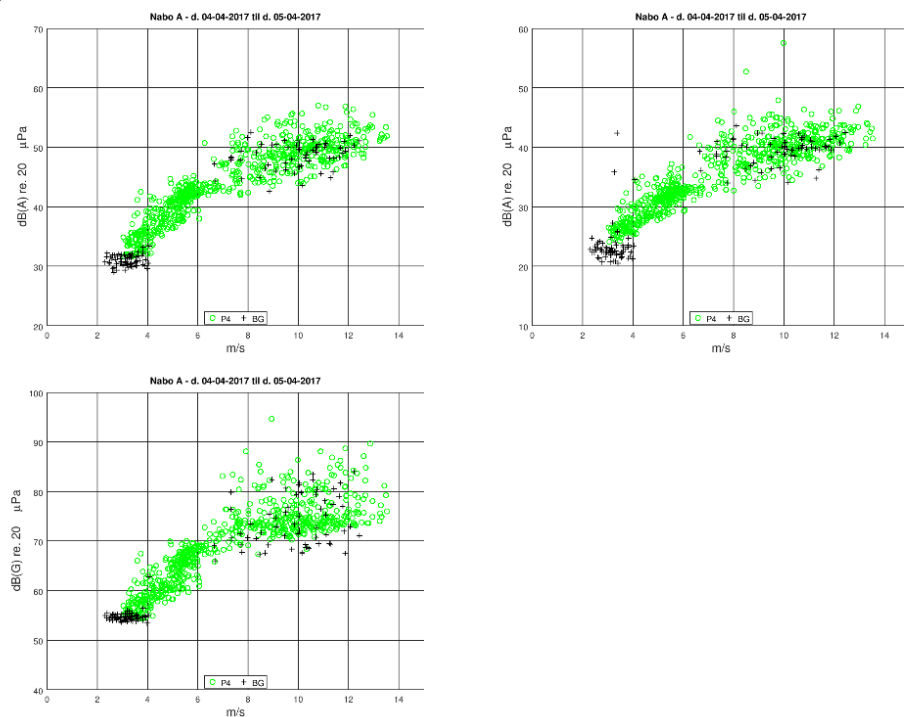


Bilag 4.2 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2

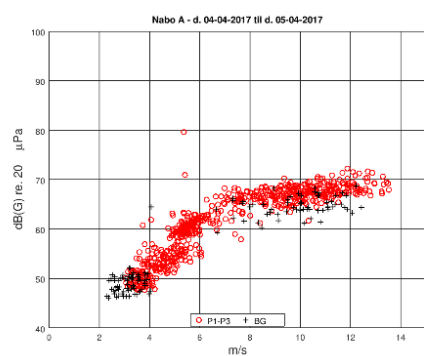
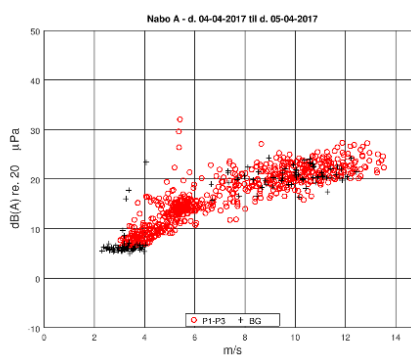
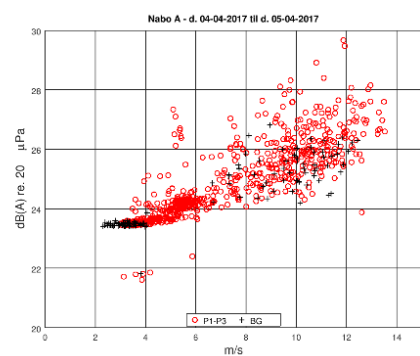
Udendørs støjniveau ved vindmøllen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

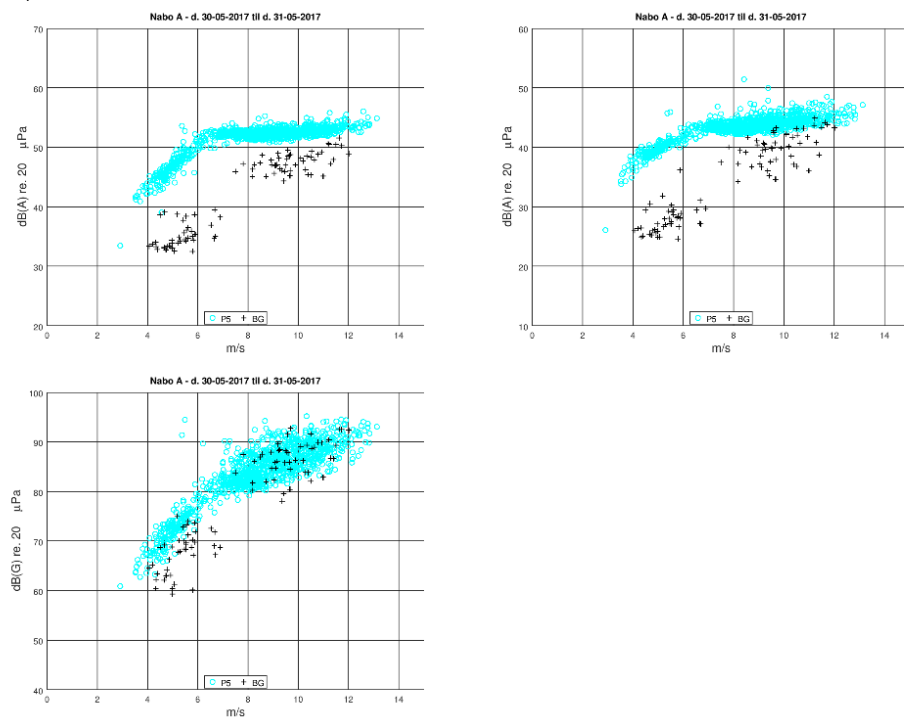


Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

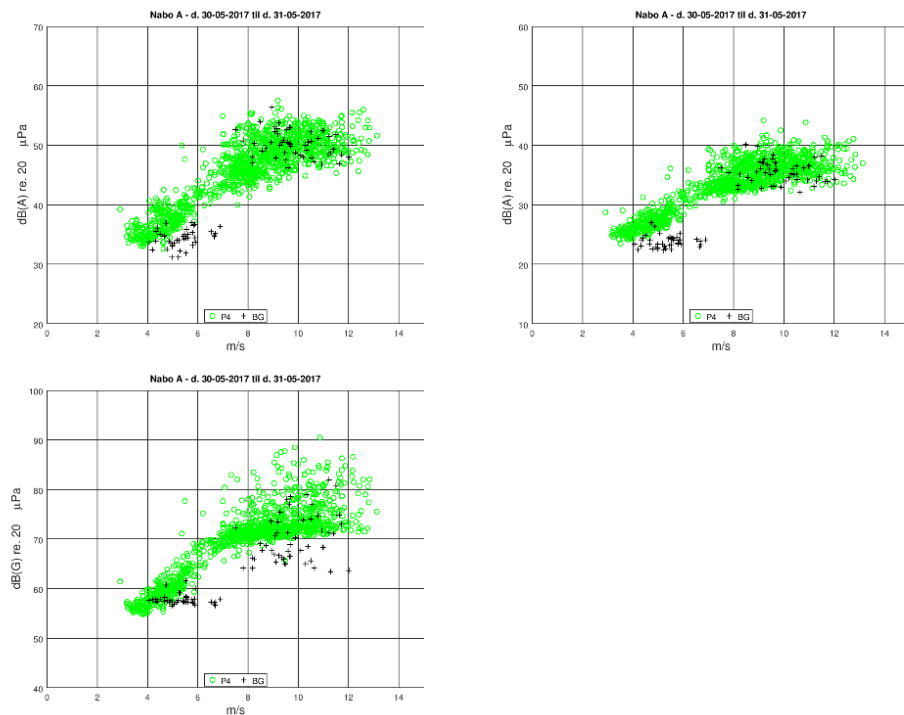


Bilag 4.3 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3

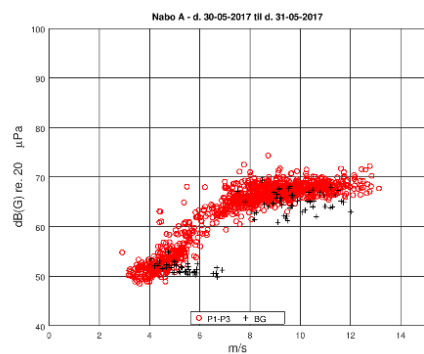
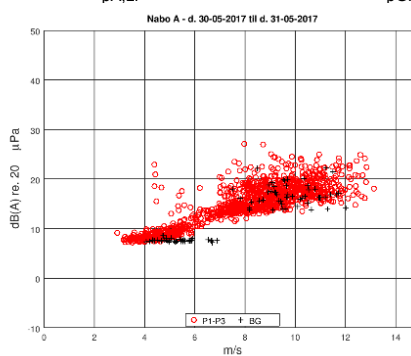
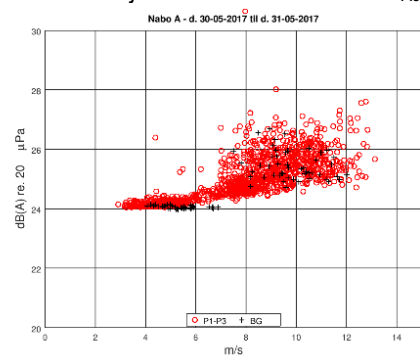
Udendørs støjniveau ved vindmøllen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

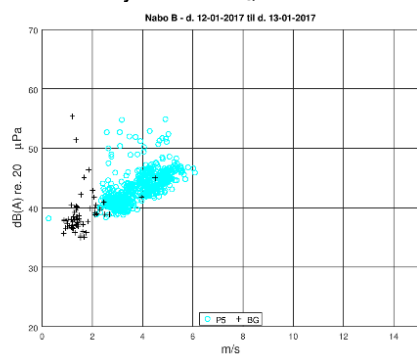


Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

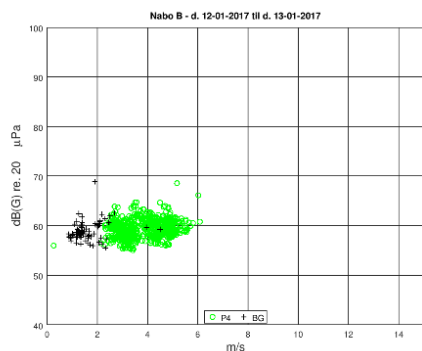
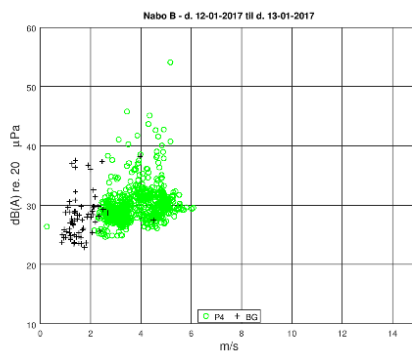
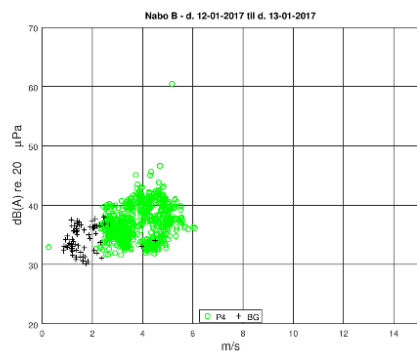


Bilag 4.4 Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1

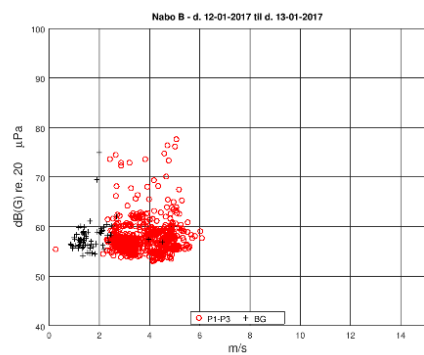
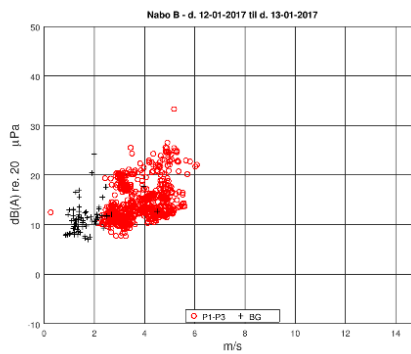
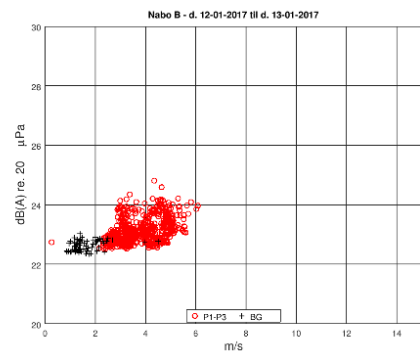
Udendørs støjniveau L_{AEQ} ved vindmøllen.



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

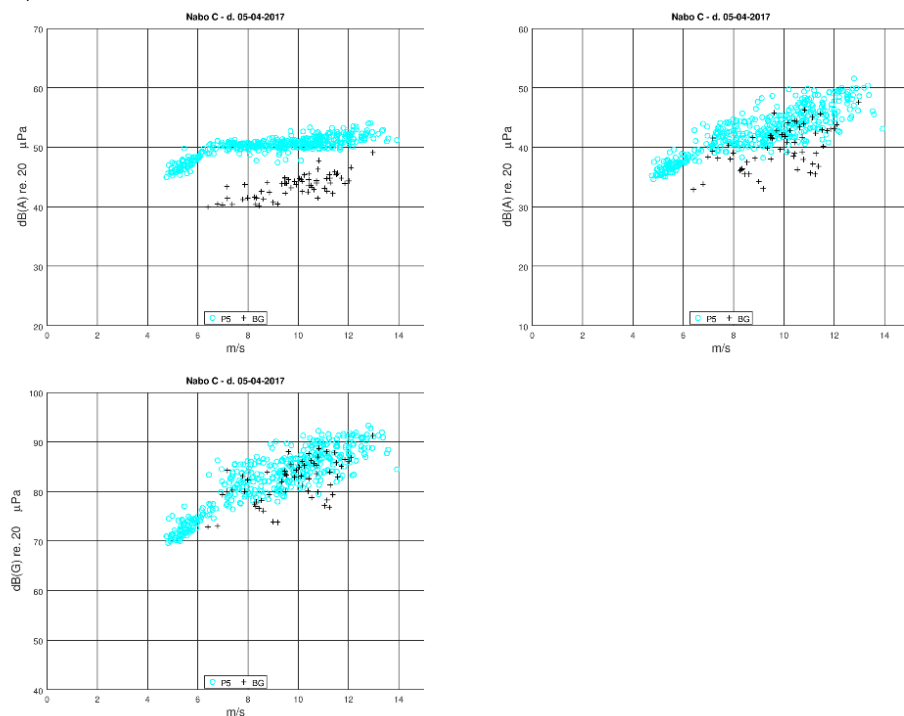


Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

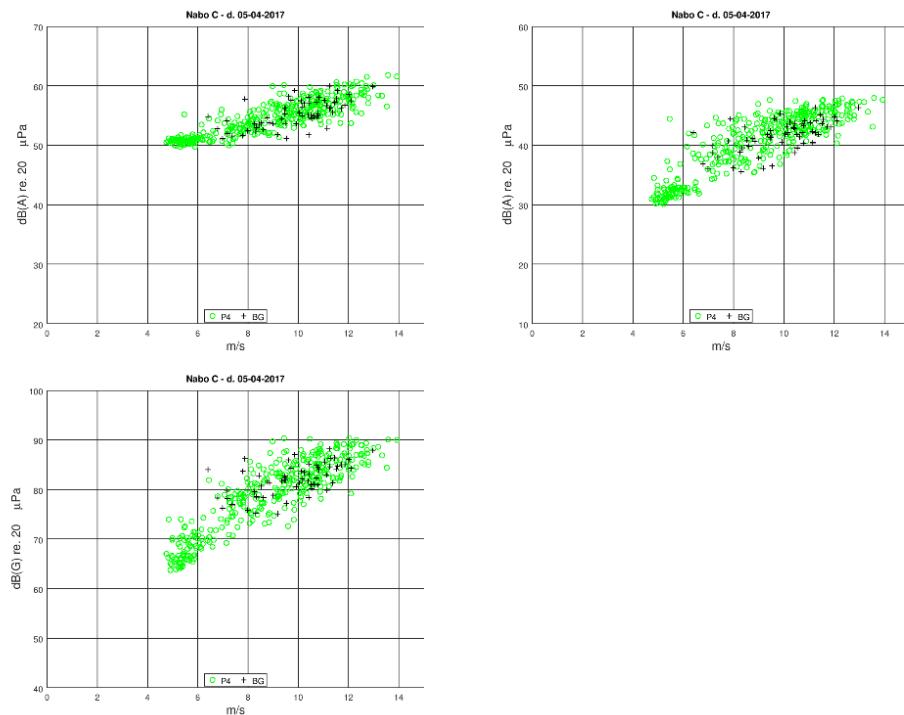


Bilag 4.5 Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 2

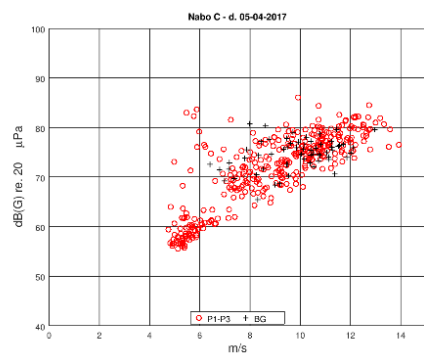
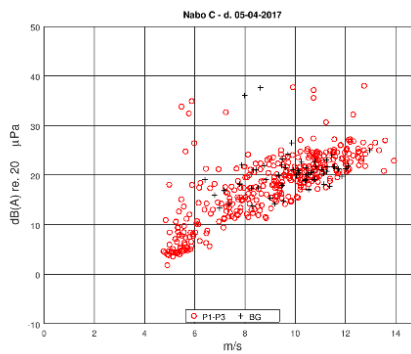
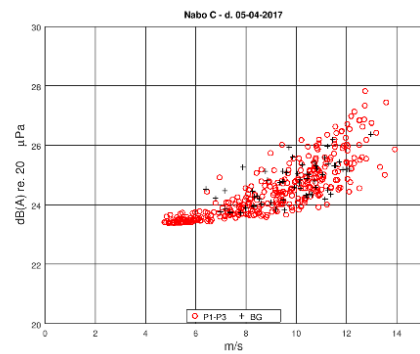
Udendørs støjniveau ved vindmøllen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

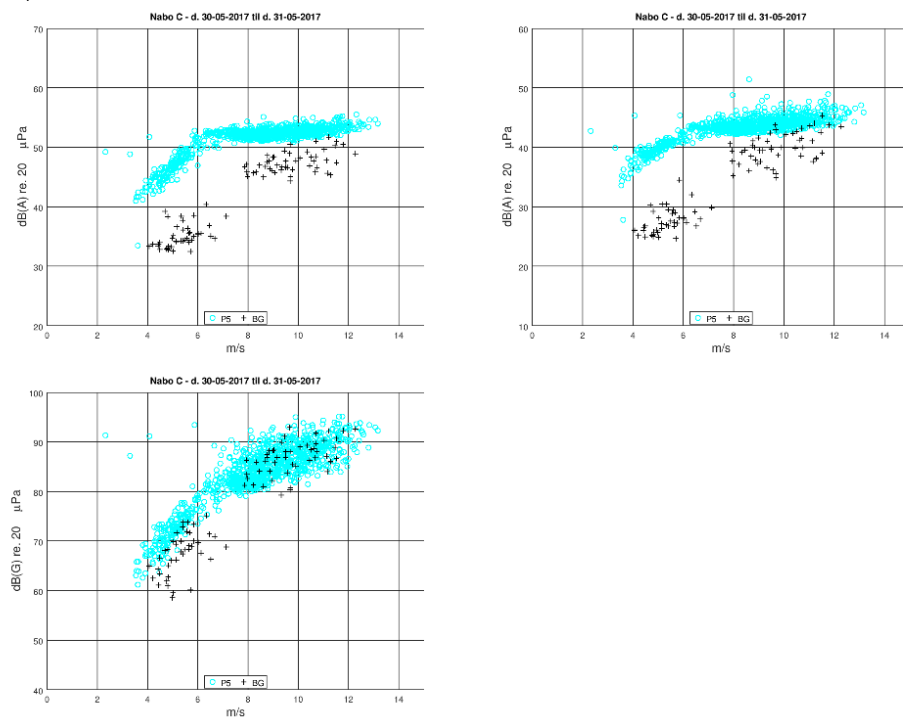


Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

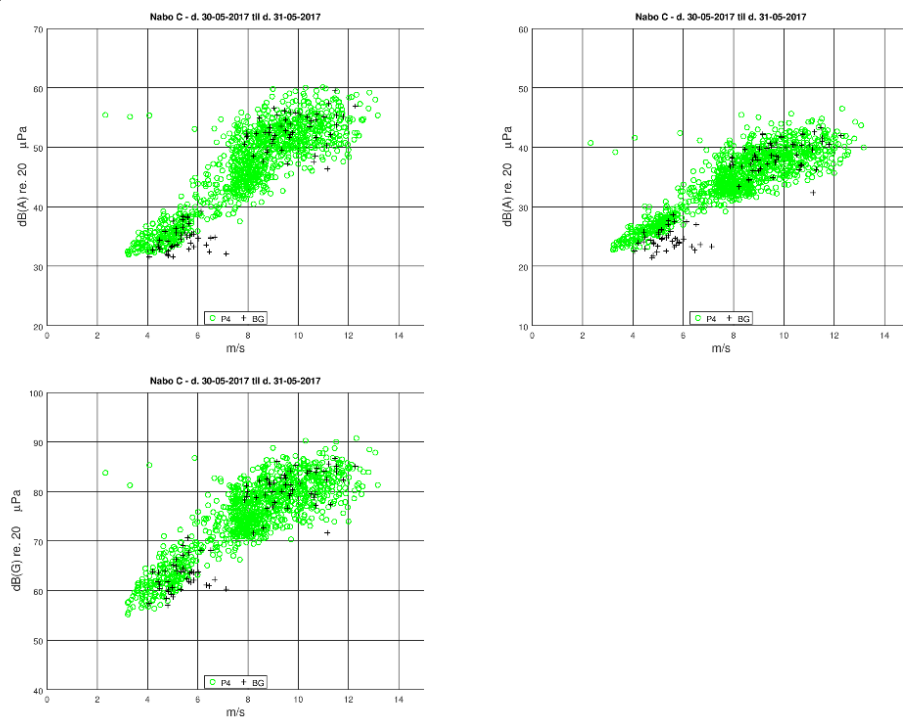


Bilag 4.6 Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3

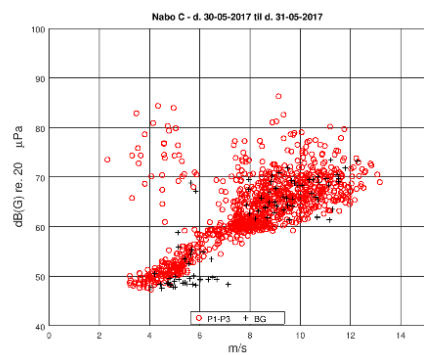
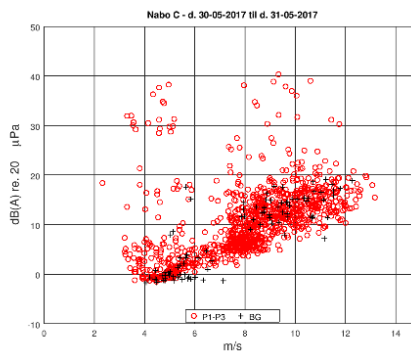
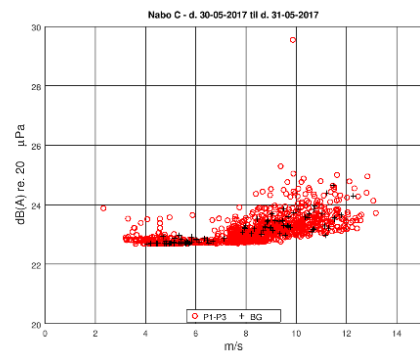
Udendørs støjniveau ved vindmøllen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .



Udendørs støjniveau ved naboen. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .



Indendørs støjniveau. Venstre side er L_{A90} højre side er $L_{pA,LF}$ venstre side bund er L_{pG} .

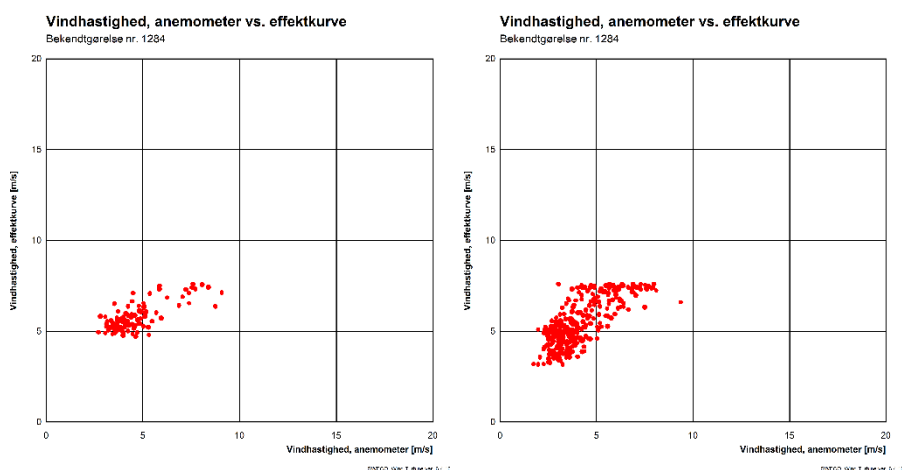


Bilag 5. Overvejelser om måling af vindhastighed.

I forbindelse med måling af støj fra vindmøller ved naboerne bliver vindhastigheden en parameter, der kan diskuteres. I forbindelse med måling i henhold til Miljøministeriets Bekendtgørelse er vindhastigheden veldefineret og bestemmes gennem vindmøllens producerede effekt. Vindhastigheden er essentiel idet støjkravene er hængt op på vindhastigheden ligesom støjen fra vindmøllerne varierer med vindhastigheden. Når man laver målingerne langt fra vindmøllerne er der flere muligheder for bestemmelse af vindhastigheden. Den kan tages fra en af vindmøllerne (den nærmeste?), den kan fastlægges som en middelværdi af aflæsningerne fra de forskellige vindmøller i vindmølleparken, eller den kan måles i 10 m højde ved boligen.

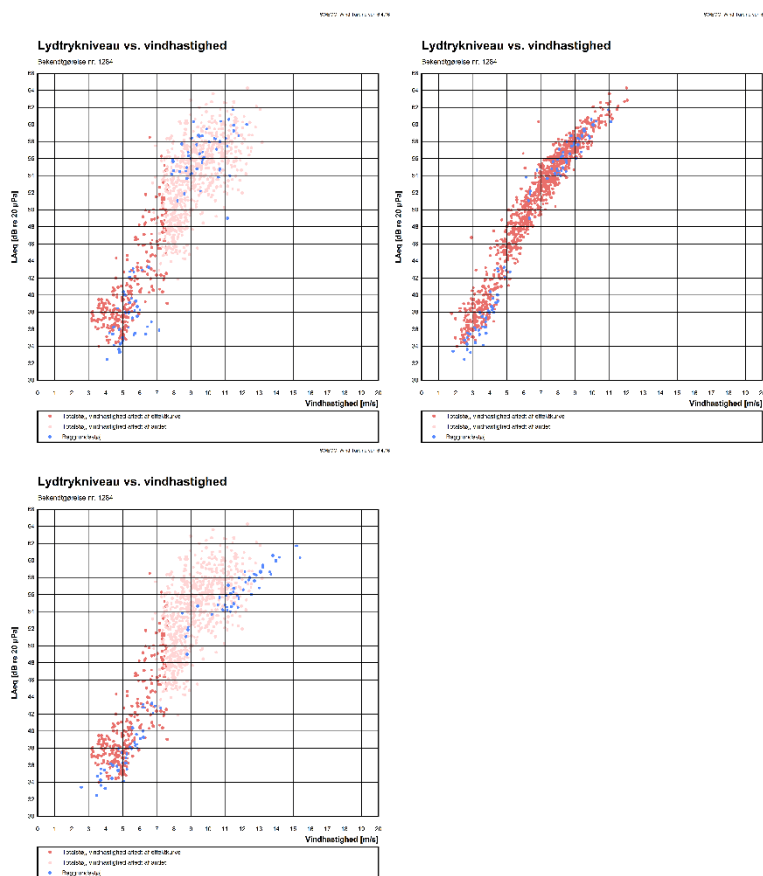
I nedenstående Figur 25 er sammenhængen mellem vindhastigheden målt i 10 m højde i forhold til vindhastigheden bestemt ud fra en af vindmøllerne. Figuren til venstre viser resultaterne fra målekampagne 2 og målekampagne 3, med vindmåleren placeret ved bolig C i medvindretningen. Hvis der er god sammenhæng vil punkterne ligge langs en linje ideelt set med hældningen 1. I begge figurer ses en tydelig sammenhæng mellem vindhastigheden målt ved naboen og vindhastigheden fra vindmøllen. En linje gennem data har forskellig hældning for de 2 måledage selvom målepositionen har været den samme. Det har den konsekvens, at hvis vindhastigheden målt i 10 m højde anvendes, vil der opnås forskellige fordelinger af støjen.

Figur 25. Sammenhæng mellem vindhastighed fra lokal 10 m mast sammenlignet med vindhastigheden bestemt ud fra vindmøllens effekt. Venstre er fra målekampagne 2 og højre er fra målekampagne 3.



I nedenstående Figur 26 er støjen målt i P4 (udendørs) ved bolig C for målekampagne 3 vist som funktion af vindhastigheder bestemt med tre forskellige metoder. I metode 1 er vindhastigheden bestemt ud fra effektkurve og fra nacelleanemometer for både totalstøj og baggrundsstøj. I metode 2 er den lokale 10 m mast anvendt for totalstøj og baggrundsstøj og i metode 3 er det blandet så effektkurve og nacelleanemometer er anvendt af totalstøj og lokal 10 m mast er anvendt til baggrundsstøj. Når samme reference for vindhastigheden anvendes fås sammenlignelige relationer og resultater. Når referenceerne blandes ændres resultaterne forstået på den måde at baggrundsstøjen og totalstøjen ligger ved forskellige vindhastigheder

og det fremgår at det er uhensigtsmæssigt at benytte vindmølleparametrene til at bestemme vindhastigheden når møllen kører, og den lokale 10 m vindhastighed ved naboen til at bestemme vindhastigheden under måling af baggrundsstøj. Den lokale vindhastighed korrelerer godt til støjen ved boligen, mens vindhastigheden fra vindmøllen ikke giver samme gode korrelation. Dette indikerer at støjen ved boligen stammer fra vindgenereret støj tæt på boligen.



Figur 26. Udendørs støjniveau L_{Aeq} ved naboen som funktion af vindhastigheden.
Venstre: Vindhastighed fra effektkurve og nacelleanemometer for totalstøj og nacelleanemometer for baggrundsstøj.
Højre: Vindhastighed fra lokal 10 m mast for totalstøj og baggrundsstøj.
Nederst: Vindhastighed fra effektkurve og nacelleanemometer for totalstøj og fra lokal 10 m mast for baggrundsstøj

Måling af støj hos vindmøllenaboer

I forbindelse med kritik af Miljøministeriets retningslinjer for dokumentation af støjbelastningen fra vindmøller gennem kildestyrkemålinger og beregninger har Miljøstyrelsen iværksat en serie af undersøgelser baseret på direkte måling af støj fra vindmøller ved naboer til vindmøller. I denne undersøgelse, er der foretaget målinger i dagperioden og natperioden ved naboer til en mindre vindmøllepark ved Vildbjerg. Formålet med undersøgelsen er at opnå viden om hvorvidt det er realistisk at gennemføre dokumentation af støj fra vindmøller gennem direkte målinger samt om der optræder fænomener om natten og/eller udenfor det vindhastighedsområde på 6 m/s til 8 m/s, som de gældende regler omfatter, der kan give anledning til revurdering af reglerne.

Den gennemførte undersøgelse viser, at det kan være yderst vanskeligt at fastlægge støj fra vindmøller gennem direkte målinger ved naboerne. Der er både planlægningsmæssige og tekniske forhold, der skal overvejes inden en målekampagne iværksættes. I nogle tilfælde vil det ikke være muligt at gennemføre denne type af målinger på grund af høj baggrundsstøj. Generelt forventes usikkerheden på resultaterne at være større end ved anvendelse af de gældende principper. Omkostningerne til målingerne vil være større på grund af længere måletid, planlægning af måletidspunkt og forløb og det faktum, at der skal udføres individuelle målinger for hver bolig.

Det kan konstateres, at toner kan være tydeligt hørbare ved lave vindhastigheder selvom de er vurderet ikke hørbare for standardområdet 6 m/s - 8 m/s. Der har været eksempler på, at baggrundsstøjen er lavere om natten, hvorved vindmøllestøjen fremstår tydeligere.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk