



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Måling af støj hos vindmøllenaboer Større vindmøllepark Målinger i dagperioden

Miljøprojekt nr. 2096

August 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Bo Søndergaard

Jørgen Heiden

Niels F. Christensen

SWECO

Fotos:

SWECO

ISBN: 978-87-7038-088-1

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 ved naboer til en større vindmøllepark syd for Holstebro. 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 udenfor det vindhastighedsområde på 6 m/s til 8 m/s de gældende regler omfatter, der kan give anledning til revurdering af reglerne.

Den gennemførte undersøgelse viser, at det er muligt at fastlægge støj fra vindmøller gennem direkte målinger ved naboerne, men at 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 det 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.

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 by neighbors to wind turbines. In this study, measurements have been made during the day period at neighbors to a larger wind farm south of Holstebro. 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 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 is possible to determine noise from wind turbines through direct measurements at the neighbors, but also that there are both planning and technical issues 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 was found outside the normal wind speed range.

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 programmel	9
4. Omstændigheder i forbindelse med gennemførelse af målinger	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	21
6.1 Overblik	21
6.2 Sammenhæng til vindhastighed	23
6.2.1 Resultater fra bolig A	25
6.2.2 Resultater fra bolig B	26
6.2.3 Resultater fra bolig C	27
6.3 Sammenhæng til vindretning	27
6.4 Indhold af toner	28
6.5 Amplitudemodulation	29
7. Usikkerhed	30
8. Grænseværdier	31
9. Kommentarer	32
Bilag 1. Kort over målelokation	34
Bilag 1.1 Kort over vindmøllepark og naboer. Det fremgår, at der er en husstandsmølle umiddelbart nord for bolig A. Det vurderes, at den ikke har haft indflydelse på måleresultaterne	34
Bilag 2. Tidsserieplots	35
Bilag 2.1 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1	35
Bilag 2.2 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2	37
Bilag 2.3 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3	38

Bilag 2.4	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig B	39
Bilag 2.5	Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C	40
Bilag 3.Scatter plots		41
Bilag 3.1	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1	41
Bilag 3.2	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2	42
Bilag 3.3	Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3	43
Bilag 3.4	Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1	44
Bilag 3.5	Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3	45
Bilag 4.Overvejelser om måling af vindhastighed		46

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 bekendtgørelse nr. 1736 af 21/12/2015 – *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*. 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 inddrage flere vindhastigheder i reguleringen.

For at belyse disse problemstillinger er der gennemført en række målekampagner, 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 6 Siemens SWT-6.0-120 vindmøller. Navhøjden er 90 m og rotordiameter er 120 m. Vindmøllerne står på en ret linje, der er orienteret i nord – sydlig retning. Der er udvalgt naboer i 3 forskellige retninger, syd, nord og vest for vindmøllerne. Vindmøllerne er placeret i et fladt terræn med spredte beplantningsområder. Nabobeboelserne ligger i afstande fra 650 meter til 760 meter fra nærmeste vindmølle.

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

Naboernes kommentarer til vindmøllerne var:

- Bolig A. 2 beboere. Beboer 1 lægger slet ikke mærke til støj fra vindmøllerne, mens beboer 2 generelt føler sig generet af vindmøllerne.
- Bolig B. Bemærker af og til støjen fra vindmøllerne, men er ikke generet.
- Bolig C. Var ved visse vindsituationer stærkt generet af vindmøllestøjen. Disse vindsituationer var dog ikke identificeret i form af vindretning og vindstyrke.

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. Boligerne er betegnet med A, B og C i rapporten. Målingerne er aftalt med naboerne til at foregå i dagtimerne en dag ad gangen. Der er gennemført 3 målekampanjer i alt med 2 naboer involveret i hver målekampagne. Det var planlagt at foretage målinger i hver bolig 2 gange i alt. Vanskeligheder forbundet med planlægning af målingerne, samt problemer med måleudstyret har dog ført til, at der kun er opnået resultater for bolig B og C for en måledag, mens bolig A omfatter 3 måledage.

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 s, 60 s og 600s 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. Som reference for vindhastighed er data fra vindmølle 4 anvendt. Vindmølle 4 er et tilfældigt valg, men det er sikret, at data ikke afviger fra de øvrige vindmøller.

3.3 Anvendt måleudstyr og programmet

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 i forbindelse med gennemførsel af målinger

4.1 Planlægning

Formålet med at gennemføre målekampanjerne som flere en-dags kampanjer er at opnå en større spredning på de meteorologiske forhold i form af vindretninger og vindhastigheder, samt sikre en vis statistisk uafhængighed af måleresultaterne. 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 december og den sidste i juni, 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 planlægningen skullet baseres på vejrudsigter 3-4 dage i forvejen. Det har helt naturligt ført til forsinkelser i afviklingen af målingerne da vejret ofte har udviklet sig anderledes end forventet ud fra prognoserne. I sidste ende er det valgt at gennemføre målekampanjerne med mindre variationer, end det oprindeligt var tænkt.

4.2 Vejrforhold

De 3 målekampanjer er udført under vejrforhold som anført i Tabel 1. Data er fra vindmølle 4, 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.

TABEL 1. Oversigt over meteorologi under målingerne. Data er fra vindmølle 4, der anvendes som reference for vindhastighed og retning i alle analyserne. Vindhastigheden er omregnet fra navhøjde til 10 m højde.

Målekampagne	Vindhastighed [m/s]	Vindretning [deg]	Effekt [kW]	Nedbør	Skydække
1. 15/12-2016	2-5	130-165	60 1040	Ingen	4-6/8
2. 4/4-2017	3-6	200-245	450-2250	Ingen	0-2/8
3. 1/6-2017	3-8	280-320	780-4500	Ingen	0-2/8

Yderligere beskrivelse af forholdene.

Målekampagne 1 15/12-2016: Ved målingen var det overvejende tørt. Vindhastigheden var noget lavere end vejrudsigtsens prognose. Vindretningen var nogenlunde stabil i det sydøstlige hjørne.

Målekampagne 2 4/4-2017: Ved målingen var det tørt og klart vejr. Vindhastigheden startede lavere end forudsagt af meteorologerne og dykkede yderligere til under vindmøllerne driftshastighed, men endte relativt højt. Samtidigt skete der en vinddrejning fra syd-sydvest til nordvest.

Målekampagne 3 1/6-2017: Ved målingen var det tørt og klart vejr. Vindhastigheden startede middelhøjt, 7 m/s og var nogenlunde stabil i den første 1/3 af måleperioden, hvorefter den gradvist faldt til 4-5 m/s.

4.3 Udendørs forhold

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



FIGUR 1. Kort over vindmøllepark og berørte boliger

Bolig A, Holstebrovej 121, 6980 Tim, er et ældre husmandssted med saddeltag og kun udnyttet i stueetage. Vinduerne er på et tidspunkt (formentlig i perioden 1960 – 1980) udskiftet til termovinduer. Lige omkring huset er der få havetræer. Ellers er der flad og åben mark mellem vindmøllerne og boligen.

Bolig B, Lindholmvej 5, 6980 Tim, er et relativt nyopført stuehus i 1½ etage ved et større landbrug. På de første ca. 100 m mod møllerne er der en tæt, middelhøj bevoksning dog med en mindre åben "kile" ind til en stor have (primært græs). På den øvrige del af strækningen mellem møller og bolig er der en blanding af åben mark og lav pileskov. Terrænet er overvejende fladt.

Bolig C, Stadilvej 4, 6950 Ringkøbing, er et nyopført stuehus i 1½ etage beliggende i forbindelse med et fritidslandsbrug. På de nærmeste 100 – 150 m mod vindmøllerne er der marker med læhegn. I midterområdet er der et skovområde, mens der nærmest møllerne er åbne marker med få læhegn. Den nærmeste halvdel af strækningen fra boligen mod møllerne er let kuperet inden for 5 – 7 meters højdeforskel, mens den øvrige del stort set er plan. Nærmeste vindmølles bestrøgne areal var 80 – 90% synligt fra ejendommen.

Ved boligerne A og C er der en del trafikstøj fra Holstebrovej over hele måleperioden. Bolig B ligger noget længere fra Holstebrovej og den væsentligste kilde til baggrundsstøj er vindstøj i vegetationen samt støj fra udendørs aktiviteter på landbruget.

4.4 Indendørs forhold

I bolig A er målingerne udført i et mindre værelse med et vindue, som vender direkte mod vindmøllerne. Rummet blev anvendt til oplag af møbler og lignende. Ejendommen har oliefyr, som var placeret lige uden for rummet. Med jævne mellemrum forekom betydelig baggrundsstøj fra oliefyret. Der var en beboer samt lejlighedsvis gæster i måleperioderne.

I bolig B er målingerne udført i en stor stue i stueetagen, hvor størstedelen af vinduerne vender direkte mod vindmøllerne. Stuen har mange vinduer i "normal" størrelse. Huset var uden beboere under det meste af måleforløbet.

I bolig C er målingerne udført i et dobbeltværelse beliggende i gavlen med 2 vinduer, der vender direkte mod møllerne. Ejendommens ventilationsanlæg var slukket under målingerne. Huset var uden beboere under det meste af måleforløbet.

5. Gennemførelse af målingerne

På de enkelte måledage blev målesystemerne sat op så tidligt på dagen som det var muligt at få adgang til boligerne, typisk fra kl. 8. Målesystemerne var ubemandede henover dagen 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.

TABEL 2. Oversigt over måleperioder

Målekampagne	Vindmåler	Lydmålepositioner					
		PA1-4	PA5	PB1-4	PB5	PC1-4	PC5
1. 15/12-2016	9:07-16:06	10:45– 17:00	11:04– 16:59	9:00– 16:19	9:48– 15:43	-	-
2. 4/4-2017	10:22-16:07	9:59– 16:29	10:57– 16:56	-	-	-	-
3. 1/6-2017	9:36-16:29	9:08– 16:03	10:02– 15:05	-	-	8:07– 17:42	8:25– 16:47

Eksempler på opstilling af måleudstyret er vist i Figur 2 -

Figur 9. Alle udendørs målepositioner er forsynet med ekstra vindhætte til dæmpning af vindstøj i måleudstyret.



FIGUR 2. Målepositioner indendørs i bolig A. Værelset benyttes til oplag, men er valgt da det vender i retning mod vindmøllerne.



FIGUR 3. Udendørs måleposition PA4 ved bolig A



FIGUR 4. Måleposition PA5. Mellemposition ved bolig A



FIGUR 5. Indendørs målepositioner i bolig B.



FIGUR 6. Udendørs måleposition PB4 ved bolig B



FIGUR 7. Mellemposition PB5 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 vindmøllerne



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

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-oktav-spektre ned til 10 Hz samt FFT spektre 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 giver 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 specielt trafikstøj og at de statistiske niveauer L_{A90} ¹ giver et bedre indtryk af sammenhængen til vindmøllestøjen idet kortvarige hændelser (bilpassager, aktiviteter i boligen, lyde fra huset) undertrykkes. I Figur 10 og Figur 11 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 ligger over resultaterne for P5 tæt på vindmøllerne i Figur 10 og under i Figur 11. L_{A90} giver altså en bedre repræsentation af støjen fra vindmøllerne mens kortvarige hændelser undertrykkes. Dette understøttes af kurverne i Figur 12 og Figur 13, hvor støjmålingerne er vist som funktion af vindhastigheden.

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} .

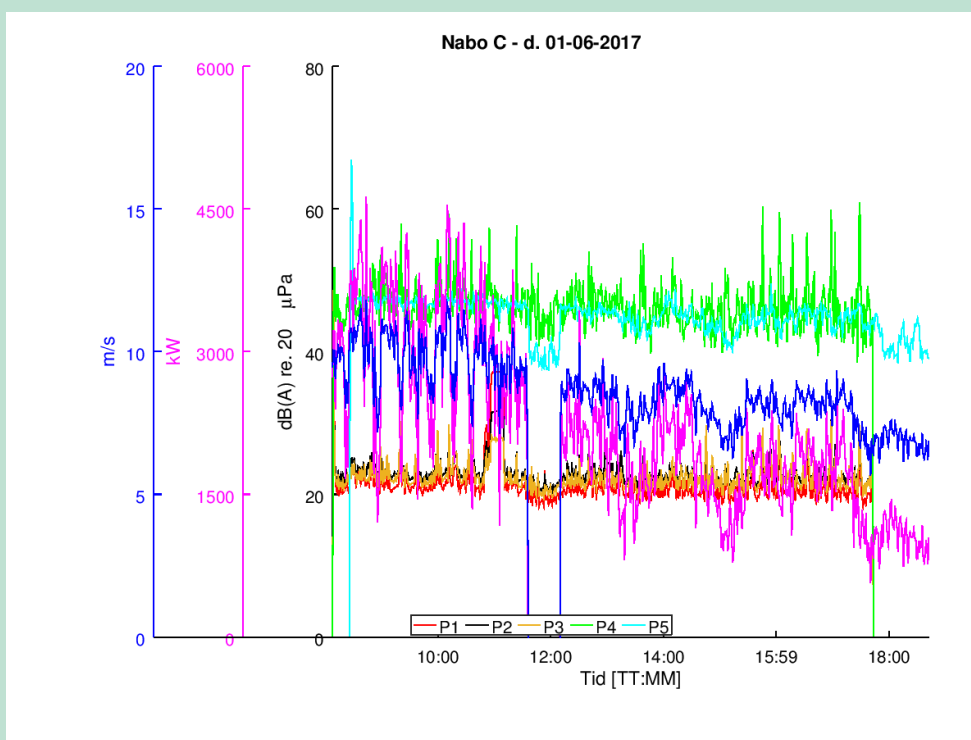
For de indendørs målinger er det valgt at anvende energimiddelværdien for måleposition P1, P2 og P3 da der ikke er væsentlige forskelle på resultaterne fra de 3 målepositioner.

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.

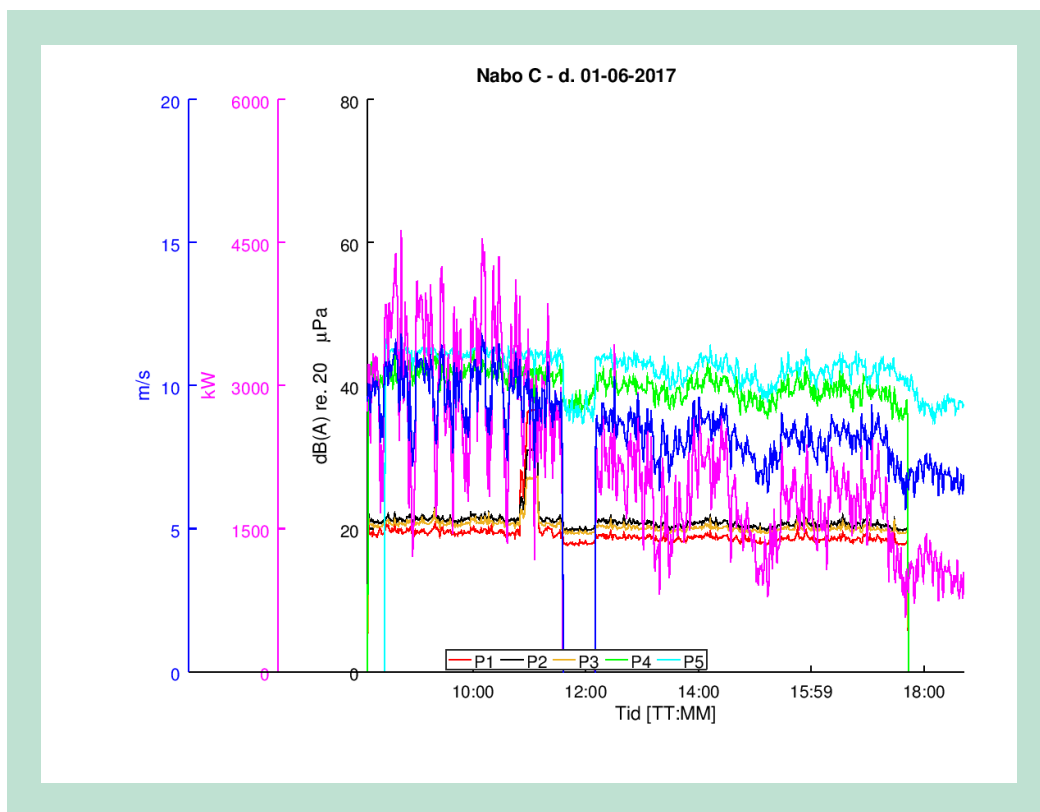
I bilag 2 er tidsserieplots for alle målinger baseret på 1 minuts midlinger vist for de analyserede parametre. I de kortvarige vindmøllestop (effekten er 0 kW) kan det ses, at støjniveauet falder for alle de analyserede parametre. Det viser, at vindmøllerne bidrager til niveauerne.

6.1 Overblik

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



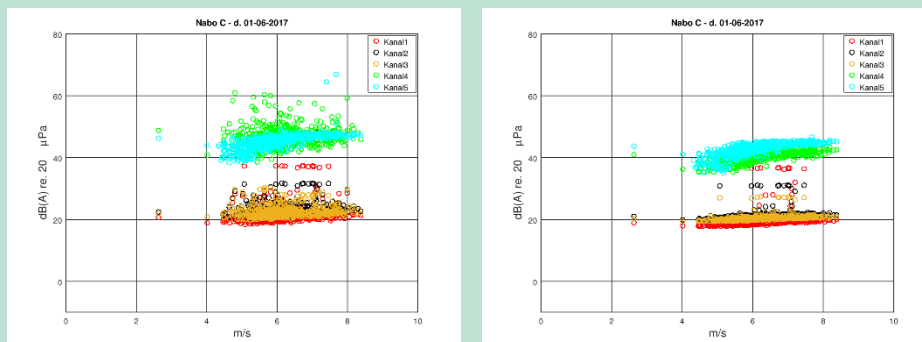
FIGUR 12. Resultater fra målingerne ved bolig C angivet som ækvivalente støjniveauer over 1 minuts perioder. Vindmøllerne er standset i et tidsrum omkring kl. 12. Det kan ses, at støjniveauet falder i alle målepositioner i denne periode.



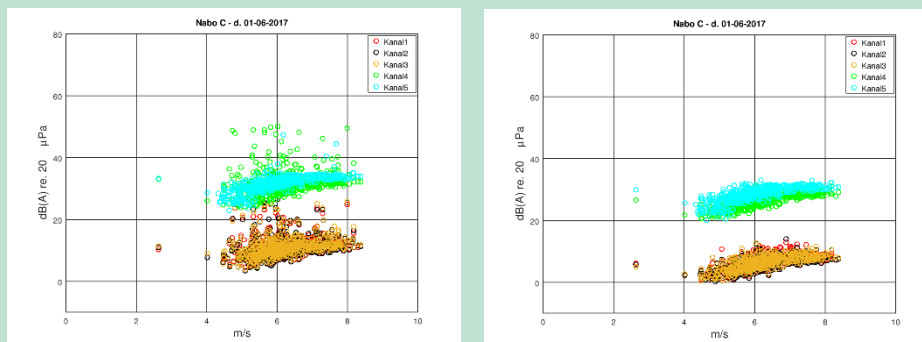
FIGUR 13. Resultater fra målingerne ved bolig C angivet som statistiske niveauer, der er overskredet 90% af tiden for 1 minuts perioder. Vindmøllerne er standset i et tidsrum omkring kl. 12. Det kan ses, at støjniveauet falder i alle målepositioner i denne periode.

6.2 Sammenhæng til vindhastighed

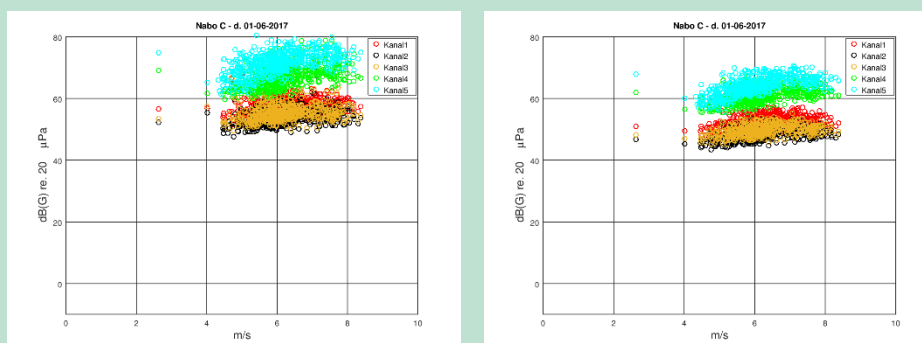
Da støj fra vindmøller viser en stærk sammengæng til vindhastigheden er der lavet plots af måleresultaterne som funktion af vindhastigheden. Eksempler på disse scatter plots er vist i Figur 12 og Figur 13. Det fremgår at der er en sammenhæng til vindhastigheden for alle målingerne, stærkest for måleposition 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 scatter plots for alle målinger baseret på 1 minuts midlinger vist for de analyserede parametre. 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 infralydniveau, 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 målingerne ved bolig C angivet som ækvivalente støjniveauer (venstre) og statistiske niveauer (højre) over 1 minuts perioder.



FIGUR 15. Resultater fra målingerne ved bolig C angivet som ækvivalente støjniveauer (venstre) og statistiske niveauer (højre) for den lavfrekvente støj indendørs over 1 minuts perioder.



FIGUR 16. Resultater fra målingerne ved bolig C angivet som ækvivalente støjniveauer (venstre) og statistiske niveauer (højre) for infralyd indendørs over 1 minuts perioder.

6.2.1 Resultater fra bolig A

I Tabel 3 - Tabel 6 er hovedresultaterne fra målingerne i og ved bolig A anført. De anførte resultater for baggrundsstøj er repræsentative for den højeste vindhastighed, der er opnået under målingerne. Der er ikke anført værdier for baggrundsstøjen for alle vindhastigheder, da der kun har været kortvarige perioder med alle vindmøller standset. For bolig A gælder generelt at målingerne indendørs er domineret af baggrundsstøj. Det skyldes, at beboeren var hjemme under målingerne og at der derfor forekom aktiviteter i boligen. Udendørs var der specielt i forbindelse med målekampagne 3 en del baggrundsstøj i form af trafikstøj fra Holstebrovej. Måleresultaterne viser dog, at de udendørs støjniveauer ligger under støjgrænserne fra Miljøministeriets Bekendtgørelse ved både 6 m/s og 8 m/s.

TABEL 3. Resultater fra bolig A for LA90, indendørs i dB re 20µPa. De anførte baggrundsstøjniveauer er repræsentative de højeste vindhastigheder opnået under målingerne.

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	Baggrundsstøj
Målekampagne 1	17,3	17,4	17,4	17,5	-	-		17,2
Målekampagne 2	-	19,2	18,9	19,2	19,5	-		19,2
Målekampagne 3			22,5	22,4	24,0	23,6	23,9	23,3

Baggrundsstøjen ved 6 – 8 m/s er i størrelsesordenen 23 dB(A). Dette indikerer at udviklingen i støjen hænger sammen med udviklingen i baggrundsstøjen.

TABEL 4. Resultater fra bolig A for det lavfrekvente støjniveau LpA,LF, indendørs i dB re 20µPa

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	Baggrundsstøj
Målekampagne 1	4,7	11,4	8,4	10,7	-	-		2,5
Målekampagne 2	-	7,1	10,7	8,8	13,9	-		10,1
Målekampagne 3			8,7	11,4	14,9	16,4	16,2	14,6

Den lavfrekvente baggrundsstøj ved 6-8 m/s er i størrelsesordenen 15 dB(A). Dette indikerer, at udviklingen i den lavfrekvente støj hænger sammen med udviklingen i baggrundsstøjen, samt at den lavfrekvente støj fra vindmøllerne ligger under de målte niveauer. Grænseværdien for lavfrekvent vindmøllestøj er 20 dB(A).

TABEL 5. Resultater fra bolig A for infralydniveauet LpG, indendørs i dB re 20µPa

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	Baggrundsstøj
Målekampagne 1	53,2	59,8	59,9	58,8	-	-		51,0
Målekampagne 2	-	57,0	58,2	59,6	60,7	-		57,5
Målekampagne 3			61,4	62,0	64,5	66,2	66,9	58,4

Baggrundsstøjen i infralydområdet ved 6-8 m/s er i størrelsesordenen 58 dB(G). Dette indikerer, at infralydniveauet fra vindmøllerne er målbart. Infralydniveauerne ligger dog næsten 20 dB under grænseværdien for infralyd for industristøj på 85 dB(G) fra Orientering nr. 9/1997 fra Miljøstyrelsen.

TABEL 6. Resultater fra bolig A for LA90, udendørs i dB re 20µPa

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	Baggrundsstøj
Målekampagne 1	37,1	36,6	37,9	38,0	-	-	-	34,3
Målekampagne 2	-	35,3	36,5	37,6	39,6	-	-	33,8
Målekampagne 3	-	-	40,7	41,2	43,4	44,0	44,6	42,8

Baggrundsstøjen ved 6-8 m/s er i størrelsesordenen 42-43 dB(A) for målekampagne 3. Korrigeres for baggrundsstøjen og adderes 2 dB for kompensation for anvendelse af LA90 bliver støjbelastningen ved 6 m/s ca. 40 dB(A) og ved 8 m/s ca. 42 dB(A).

6.2.2 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, hvor der var medvind fra vindmøllerne til boligen. Resultaterne viser en svag korrelation til vindhastigheden og forskellen på støjniveauet med vindmøllerne i drift og standset er stor nok, til at der kan laves en pålidelig korrektion for baggrundsstøjen for den lavfrekvente støj og for det udendørs støjniveau.

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

Vindhastighed	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	Baggrundsstøj
LA90	19,1	18,9	19,1	21,8	17,8
Inde P1-3					
LpA,LF	8,7	8,7	11,6	9,9	3,5
Inde P1-3					
LA90 udendørs P4	33,5	33,6	35,5	38,4	31,5
LpG	56,0	57,7	60,5	62,7	50,6
Inde P1-3					

6.2.3 Resultater fra bolig C

I Tabel 8 er resultaterne fra bolig C vist. Resultaterne er fra målekampagne 3. Der er en tydelig korrelation til vindhastigheden og forskellen på støjniveauet med vindmøllerne i drift og standset er stor nok, til at der kan laves en pålidelig korrektion for baggrundsstøjen for den lav-frekvente støj og for det udendørs støjniveau.

TABEL 8. Resultater fra bolig C angivet i dB re 20µPa. Baggrundsstøjen er repræsentativ for 7-8 m/s.

Vindhastighed	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	Baggrundsstøj
L _{A90} Inde P1-3	19,3	20,4	21,0	24,2	20,7	19,6
L _{pA,LF} Inde P1-3	7,5	12,2	12,7	13,4	13,9	8,5
L _{A90} udendørs P4	36,5	38,5	40,3	41,7	42,3	37,8
L _{pG} Inde P1-3	53,0	56,8	56,7	58,3	56,7	55,0

Korrigeres for baggrundsstøjen og kompenseres med 2 dB for anvendelse af L_{A90} fås en støjbelastning ved 8 m/s på 42 dB(A). Infrazydniveauet adskiller sig ikke væsentligt fra baggrundsstøjen.

6.3 Sammenhæng til vindretning

Der er kun opnået målinger for forskellige vindretninger for Bolig A. I målekampagne 1 var vindretningen sydøstlig og dermed fra bolig mod vindmøllerne (modvind), mens målekampagne 2 og 3 begge var med vestlige vindretninger og dermed med vind fra størstedelen af vindmøllerne i retning mod boligen (medvind). I Tabel 9 og Tabel 9 Resultater fra PA1-3 ved 5 m/s for de 3 målekampagner i dB re 20µPa

er vist de væsentligste resultater for de 3 kampagner i forhold til bolig A for vindhastigheden 5 m/s, der går igen i alle 3 målekampagner. Det fremgår, at der ikke er væsentlig forskel på medvinds- og modvindssituationen for den pågældende bolig. For de indendørs støjniveauer skyldes det, at niveauerne reelt er domineret af baggrundsstøj. De udendørs støjniveauer ser også ud til at være kraftigt påvirket af baggrundsstøjen. Der kan ikke, på baggrund af de gennemførte målinger, konkluderes en sammenhæng til vindretningen.

TABEL 9 Resultater fra PA1-3 ved 5 m/s for de 3 målekampagner i dB re 20µPa

Målekampagne	Medvind/ modvind	L _{A90}	L _{pA,LF}	L _{pG}
1	Modvind	18	11	53
2	Medvind	19	9	60
3	Medvind	23	11	62

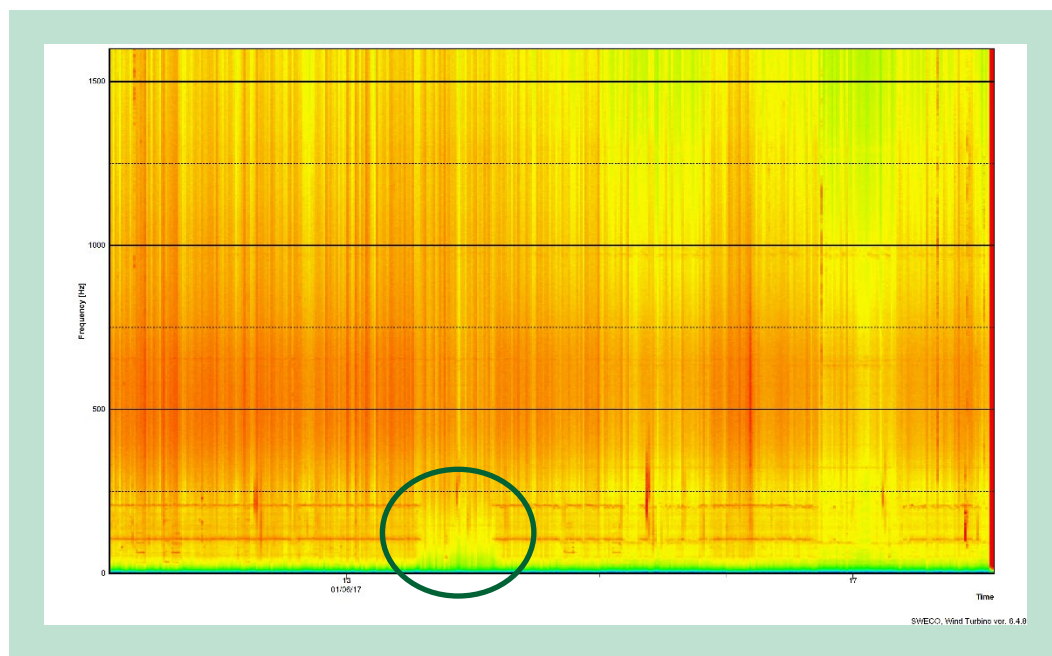
TABEL 10 Resultater fra PA4 ved 5 m/s for de 3 målekampagner i dB re 20µPa. Værdier i parentes er med vindmøllerne standset. Baggrundsstøjen er målt over en kort periode ca. 30 minutter og er dermed mere usikkert bestemt. Det fremgår dog, at også de udendørs niveauer er påvirket af støj fra andre kilder end vindmøllerne som i perioder er kraftigere end vindmøllestøjen

Målekampagne	Medvind/ modvind	L _{A90}	L _{pA,LF}	L _{pG}
1	Modvind	39 (38)	30 (24)	65 (60)
2	Medvind	38 (34)	28 (26)	67 (65)
3	Medvind	41 (46)	29 (24)	69 (72)

6.4 Indhold af toner

Der er foretaget analyse af indhold af hørbare toner i støjen i P1-P3 og P4 for alle målingerne. Ud fra tidsspektrogrammer og RPM spektrogrammer er der identificeret 2 toner, der stammer fra vindmøllerne. Det drejer sig om en tone i området fra 80 Hz til 100 Hz samt 160 Hz til 200 Hz. Eksempel på spektrogram er vist i Figur 15. Spektrogrammet viser tydeligt de 2 toner lige under 100 Hz og lige under 200 Hz, som er koblet til vindmøllerne. I perioden, hvor vindmøllerne var standset er tonerne ikke til stede.

Toneanalyserne viser, at der ikke er indhold af tydeligt hørbare toner i støjen helt generelt. For tonen i området fra 80 Hz til 100 Hz gælder, at den også kan findes i støjen indendørs. Tonerne fremtræder ikke tydeligere ved vindhastighederne under 6 – 8 m/s end ved vindhastighederne 6 – 8 m/s.



FIGUR 17 Tidsspektrogram for bolig A, målekampagne 3. Perioden, hvor vindmøllerne er standset og tonerne væk er markeret.

6.5 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.

Analyserne viser ikke forekomst af amplitudemodulation i forbindelse med de gennemførte målinger i og ved boligerne. I positionerne PA5, PB5 og PC5 er der svage indikationer af amplitude modulation. Det er dog forventeligt, at den karakteristiske periodicitet er tydelig tættere på 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 støjklider anslås usikkerheden til at være i størrelsesordenen 4 til 5 dB i afstande relevante for de gennemførte støjmålinger. Med højtplacerede støjklider 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 anslå usikkerheden ved at se på middelværdi og spredning for vindhastigheder, der er repræsenteret ved alle 3 målinger. Som det kan ses i Tabel 9 og Tabel 9 Resultater fra PA1-3 ved 5 m/s for de 3 målekampagner i dB re 20µPa

er disse resultater dog stærkt påvirket af baggrundsstøjen og det er ikke muligt at anvende disse data til at estimere usikkerheden på måling af støjen fra vindmøllerne.

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.

Resultaterne fra de gennemførte målinger er sammenlignet med grænseværdierne og det kan konstateres at de målte støjniveauer ikke på noget tidspunkt overskrider støjgrænserne. Hverken for støj eller lavfrekvent støj.

9. Kommentarer

Der er gennemført 3 serier af målinger omkring vindmølleparken ved Tim. I forbindelse med gennemførelsen har det vist sig at være vanskeligt at opnå så stor en variation i vejrforholdene som oprindeligt ønsket. 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. Det har således ikke været muligt at gennemføre målingerne under højvindsforhold med vindhastigheder over 8 m/s. Den aktive måleperiode har været begrænset af hvornår der har kunnet opnås adgang til boligerne i morgentimerne, aktiviteter i boligerne i løbet af dagen samt beboernes hjemkomst sidst på dagen. Der er dog opnået et solidt datagrundlag for situationer med lav til middelvind 2 - 8 m/s. 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, specielt ved lave vindhastigheder. I bolig A har det reelt ikke været muligt at skille vindmøllestøjen ud fra baggrundsstøjen. I bolig B og bolig C har der været en acceptabel forskel mellem støjen med vindmøllerne i drift og vindmøllerne standset for vindhastigheder over 4 m/s for det indendørs lavfrekvente støjniveau og det udendørs støjniveau.

Det er ikke lykkedes i denne undersøgelse at afklare om vindretningen har betydning for den oplevede lyd hos naboerne, primært på baggrund af høj baggrundsstøj i en af boligerne.

Der er ikke i forbindelse med målingerne konstateret usædvanlige forhold ved vindhastigheder udenfor det normale vindhastighedsområde.

Overordnet viser de gennemførte målekampagner, at der er muligt at vurdere støjen fra en vindmøllepark gennem direkte målinger ved og i nabobeboelser. Der er dog 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.

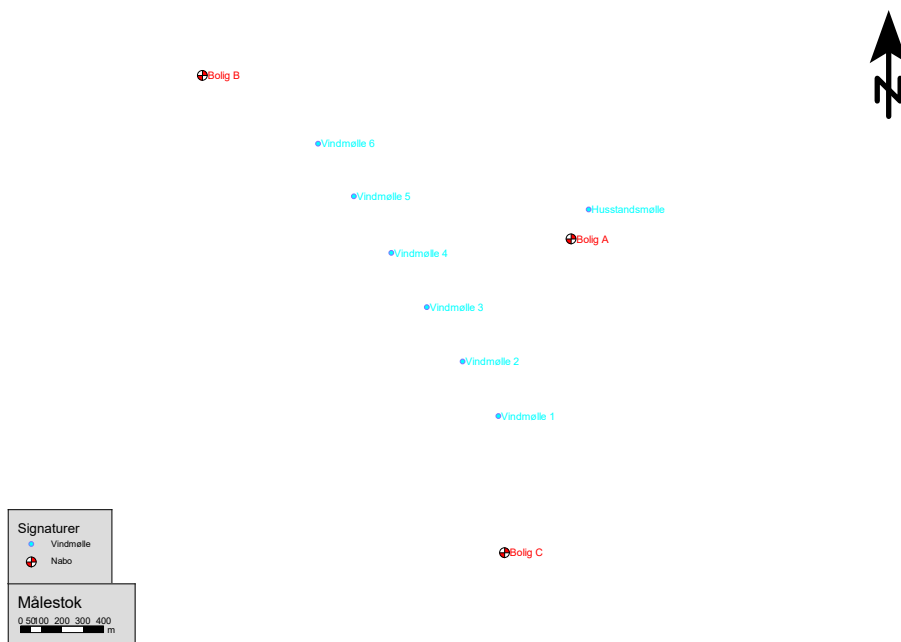
- Der skal etableres viden, som gør det muligt at anvende statistiske niveauer i stedet for de ækvivalente støjniveauer både for de almindelige støjniveauer og for de lavfrekvente støjniveauer.
- Når der laves dokumentation efter Miljøministeriets Bekendtgørelse er det ikke altid muligt at få dækket 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 retningslinjerne 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.

Resultaterne af de gennemførte målinger viser støjniveauer, der ligger omkring 40 dB(A) ved 6 m/s og mellem 42dB(A) og 44 dB(A) ved 8 m/s. For den lavfrekvente støj er niveauerne under støjgrænsen på 20 dB(A) med en god margin. Niveauerne er forventelige, da vindmølleparker ofte dimensioneres til støjgrænserne. Målingerne viser altså tilsvarende resultater som den traditionelle metode forventes at give, men med en større usikkerhed og med en væsentlig større indsats.

Målingerne viser også, at infralydniveauet fra vindmøllerne er målbart i boligerne. Allerede tæt på vindmøllerne er det målte infralydniveau under grænseværdien for infralyd for industristøj på 85 dB(G) fra Orientering nr. 9/1997 fra Miljøstyrelsen. I boligerne er infralydniveauet i størrelsesordenen 20 dB under grænseværdien. Orientering nr. 9/1997 er det anført at, hvis det sikres, at et G-vægtet lydtrykniveau på 86 dB ikke overskrides, opnås at støjens tonekomponenter i frekvensområdet fra 3 Hz til 16 Hz er mindst 10 dB lavere end den gennemsnitlige høretærskel i dette frekvensområde. Målingerne bekræfter således at infralyd fra vindmøller ikke er væsentlig.

Bilag 1. Kort over målelokation



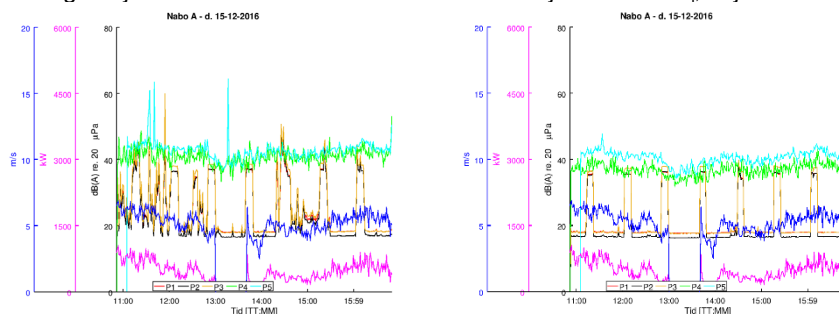
Bilag 1.1 Kort over vindmøllepark og naboer. Det fremgår, at der er en husstandsmølle umiddelbart nord for bolig A. Det vurderes, at den ikke har haft indflydelse på måleresultaterne

Bilag 2. Tidsserieplots

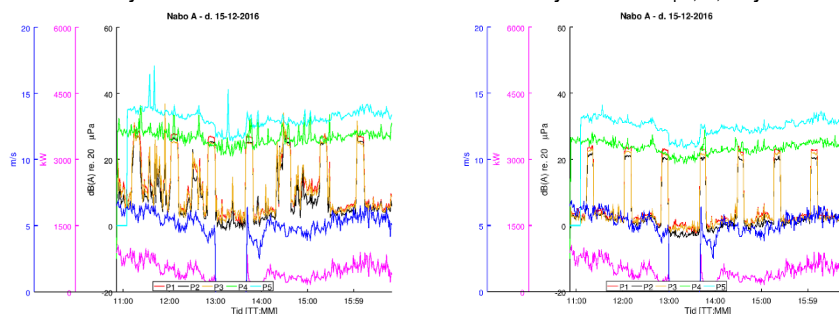
Tidsserieplots viser de målte støjniveauer i 1 minuts intervaller for hele måleperioden. Måleperioden er fra den første målekanal er sat i gang og indtil den sidste målekanal er standset. I plots er vist resultaterne for de 3 indendørs målekanaler, P1, P2 og P3 samt de 2 udendørs målekanaler P4 ved huset og P5 tættere på vindmøllerne. Derudover er vist den producerede effekt fra vindmølle 4 (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. Ud over tidsserieplots for de ækvivalente støjniveauer er også det statistiske niveau, der er overskredet 90% af tiden vist. Specielt for bolig A, hvor der har været en del forstyrrelser bliver billedet klarere, når man ser på det statistiske niveau. Også for bolig C bliver en del kortvarige forstyrrelser sorteret fra med det statistiske niveau. I tidsserieplots for bolig B ses nogle næsten periodiske variationer i det lavfrekvente støjniveau indendørs både når vindmøllerne er i drift og når vindmøllerne er standset. Det er ikke afklaret hvor disse forstyrrelser stammer fra. I bolig A ses i det indendørs støjniveau det periodiske bidrag fra oliefyret båd for almindelig støj, lavfrekvent støj og infralyd.

Bilag 2.1 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1

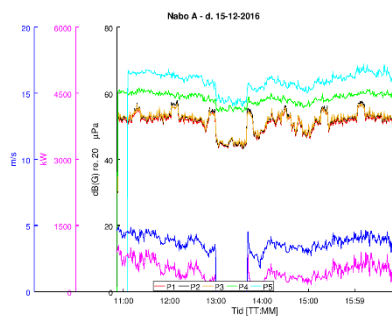
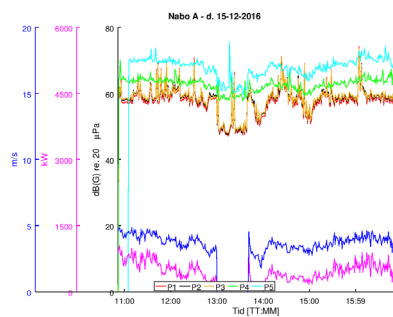
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

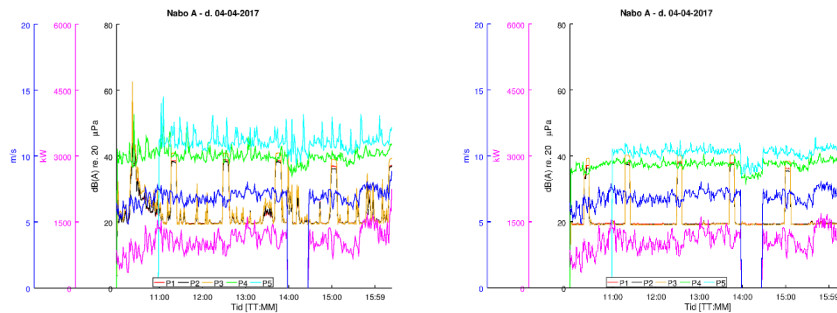


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

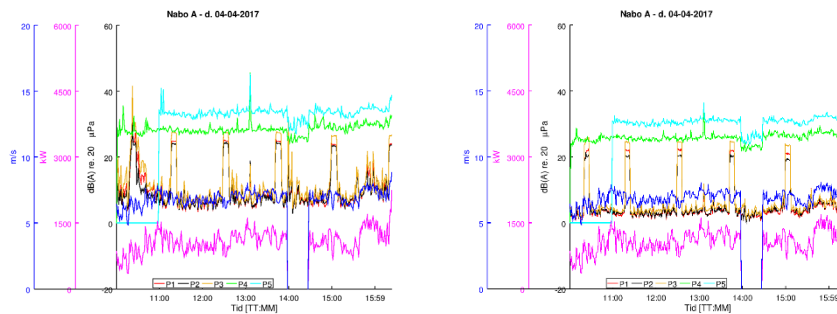


Bilag 2.2 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2

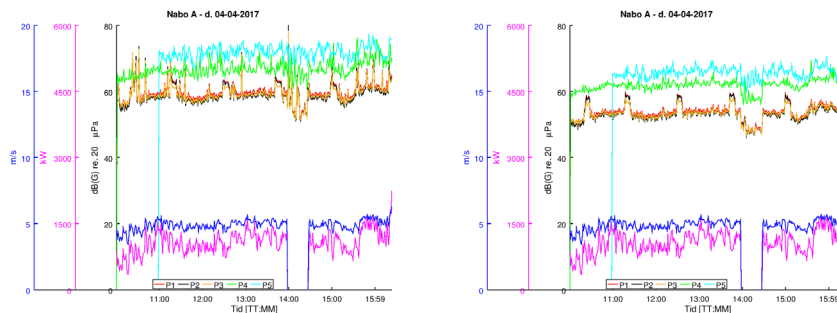
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

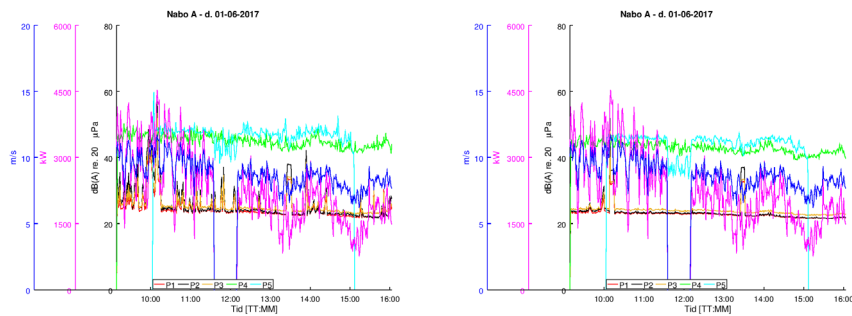


Infralyd niveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

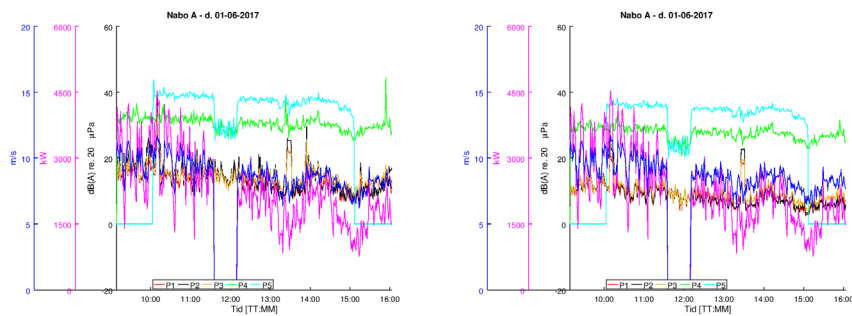


Bilag 2.3 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3

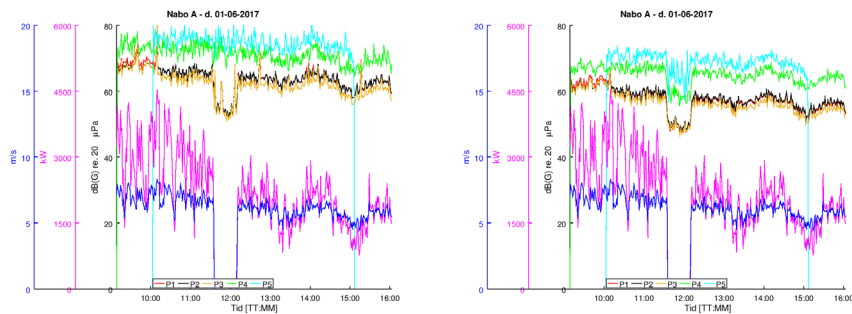
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

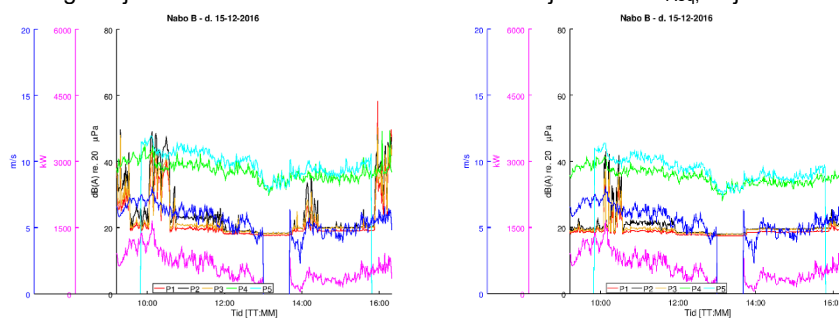


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

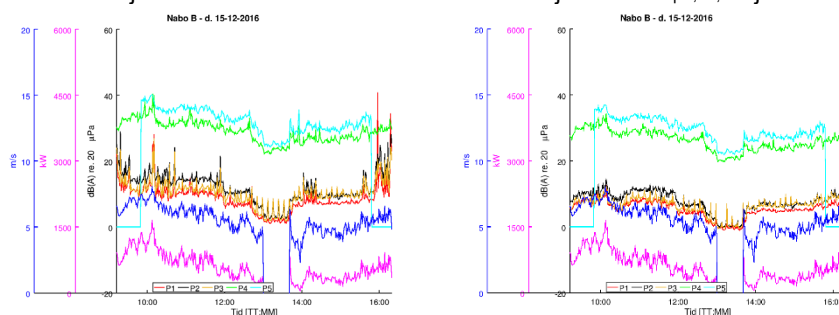


Bilag 2.4 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig B

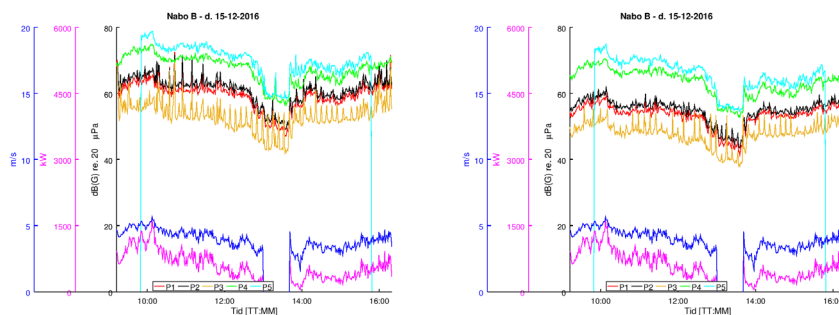
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

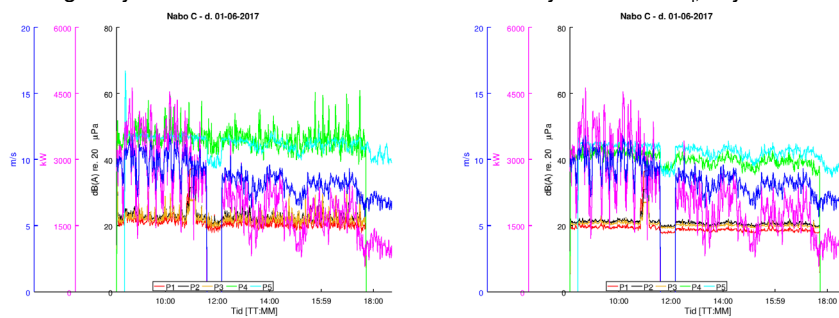


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

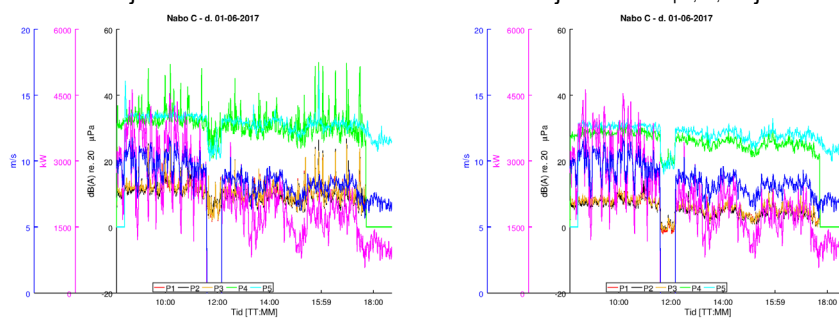


Bilag 2.5 Tidsserieplot over støjniveauer for Bolig C

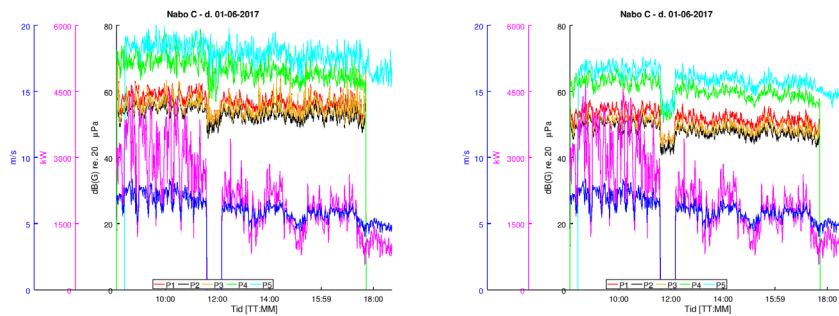
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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}

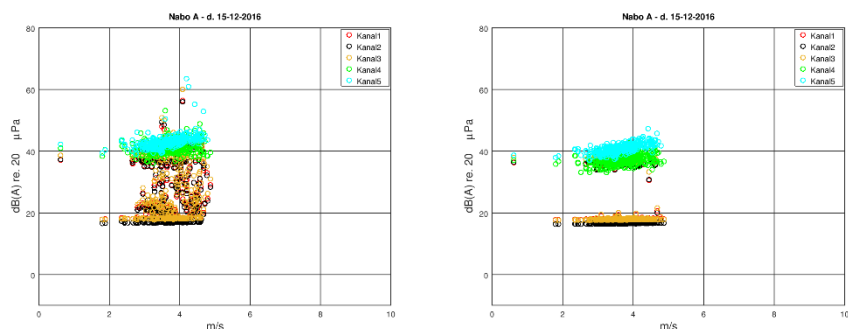


Bilag 3. Scatter plots

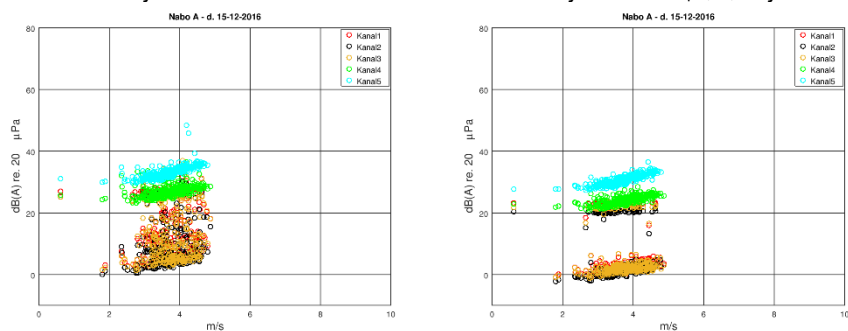
Scatter plots viser måleresultaterne som funktion af vindhastigheden. Formålet med scatter-plots er at afklare, om støjen ved naboerne viser samme afhængighed af vindhastigheden som støjen målt tæt på vindmøllerne. Udover scatter plots med de ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , $L_{pA,LF}$ og L_{pG} er også de statistiske niveauer L_{A90} , $L_{pA,LF90}$ og L_{pG90} vist. Scatter plots 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 og for infralydniveauerne. Alene ud fra disse plots kan det ses om støjen stammer fra vindmøllerne eller fra andre støjkilder i området. Bemærk, at for bolig A er der 2 niveauer for de indendørs støjniveauer. Det skyldes støjen fra oliefyret, som ikke er sorteret fra i disse plots.

Bilag 3.1 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 1

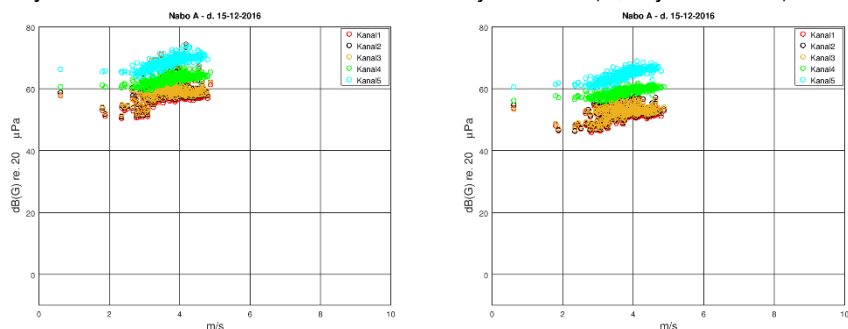
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

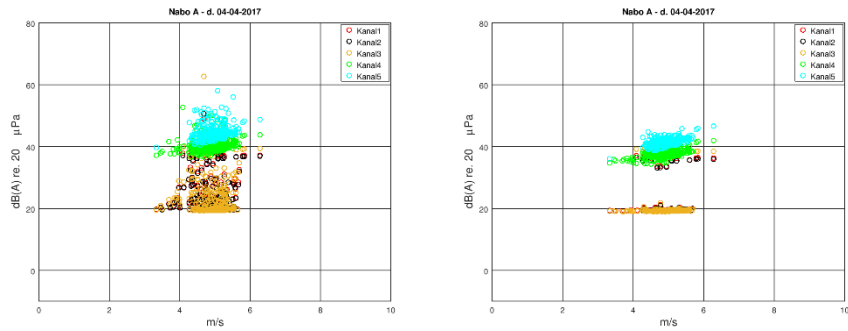


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

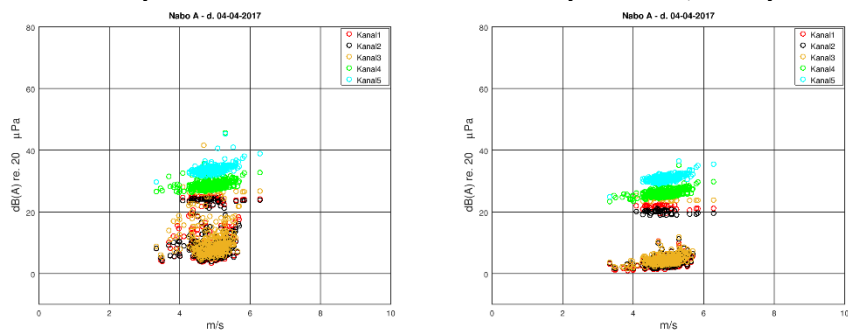


Bilag 3.2 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 2

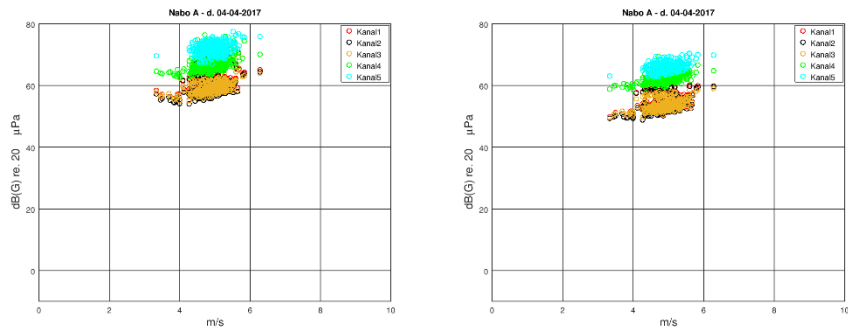
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

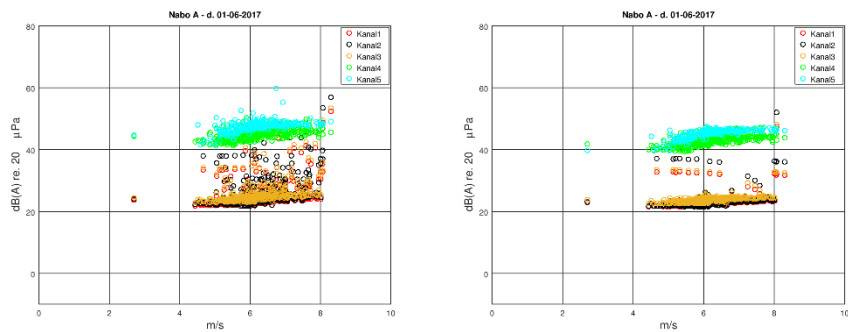


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

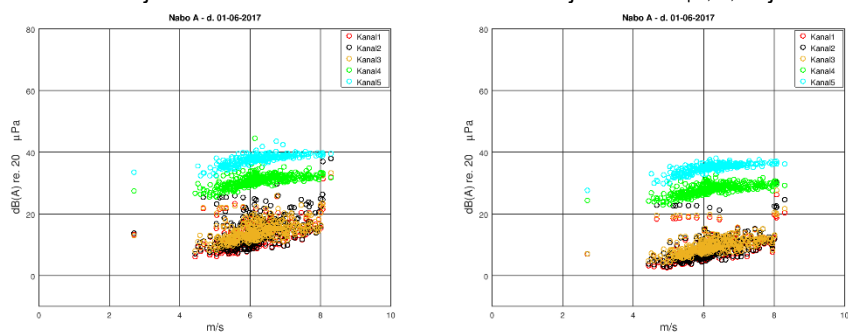


Bilag 3.3 Scatterplot over støjniveauer for Bolig A, Målekampagne 3

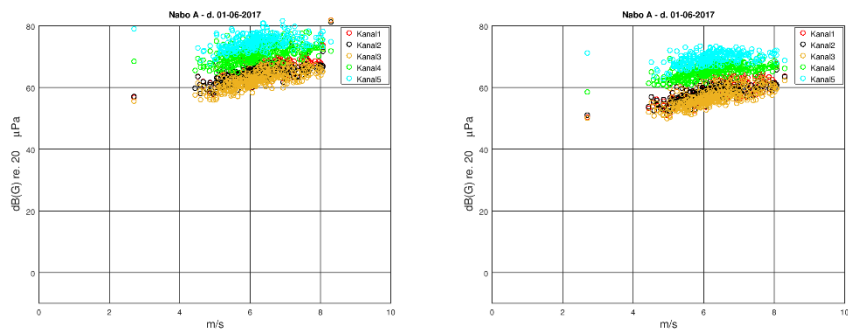
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

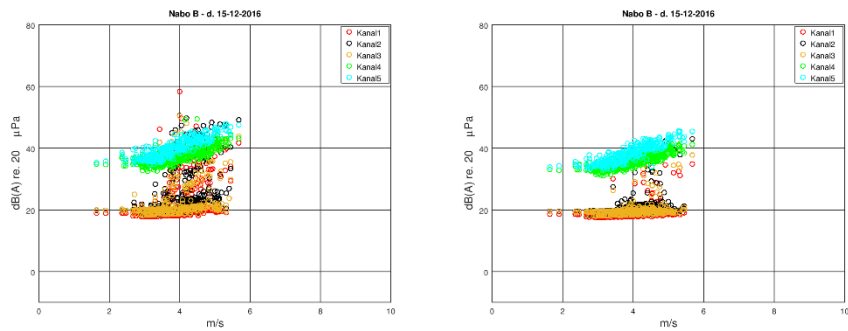


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

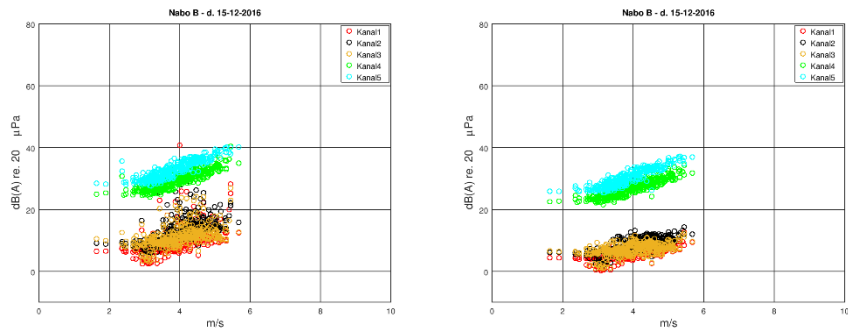


Bilag 3.4 Scatterplot over støjniveauer for Bolig B, Målekampagne 1

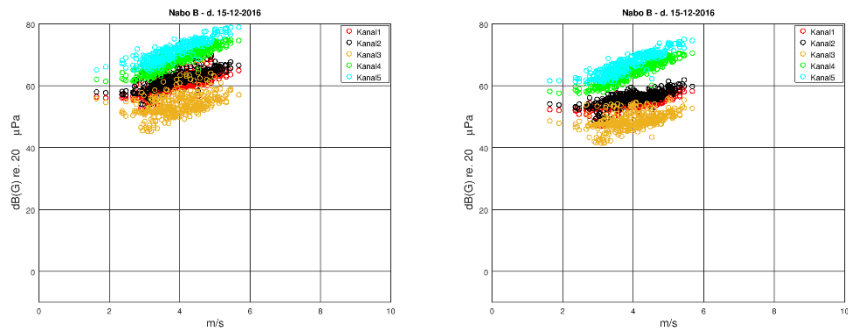
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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

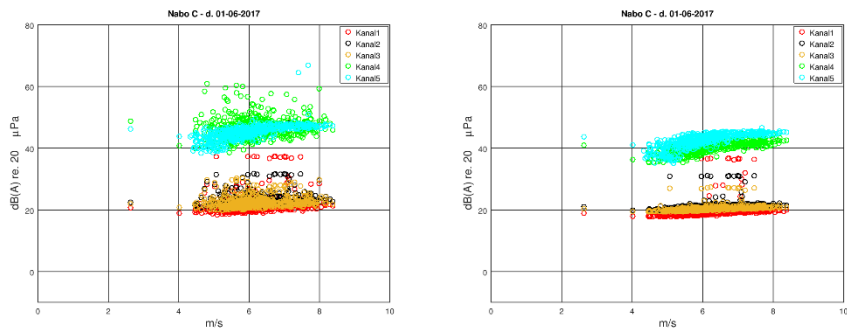


Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}

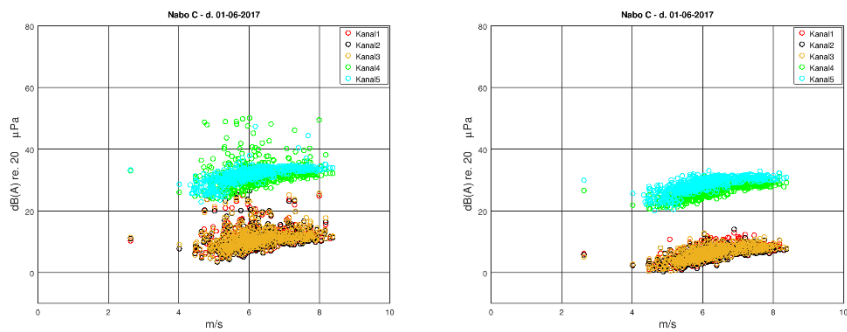


Bilag 3.5 Scatterplot over støjniveauer for Bolig C, Målekampagne 3

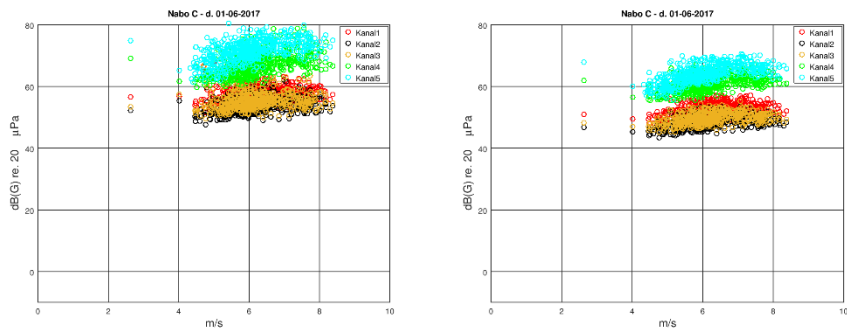
Almindeligt støjniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{Aeq} , højre side er L_{A90}



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



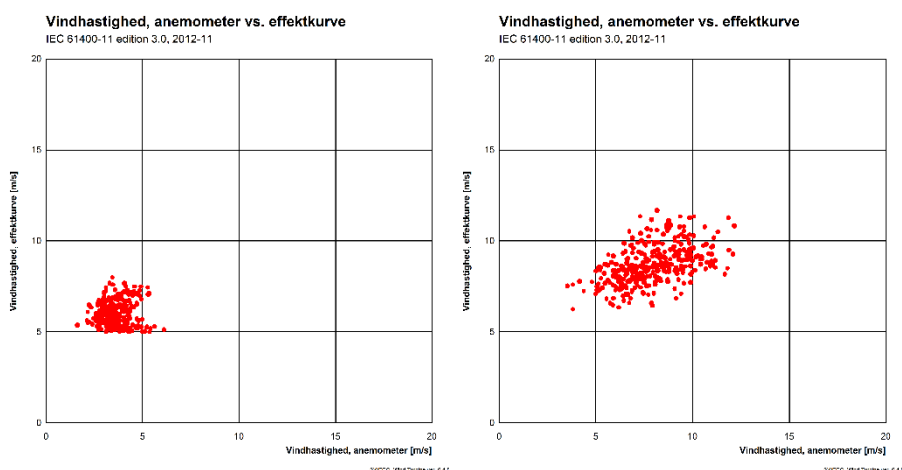
Infralydniveau. Venstre side er ækvivalente støjniveauer L_{pG} , højre side er L_{pG90}



Bilag 4. 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 målinger 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.

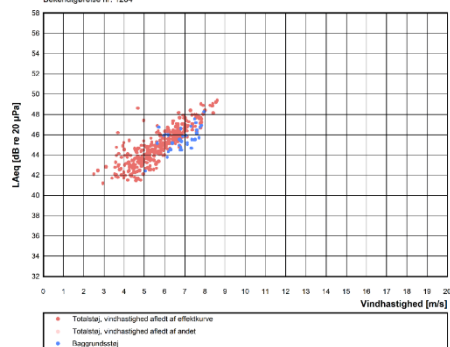
I nedenstående figurer er sammenhængen mellem vindhastigheden målt i 10 m højde i forhold til vindhastigheden bestemt ud fra en af vindmøllerne. Figuren til venstre viser resultaterne fra målekampagne 1, med vindmåleren placeret ved bolig B i medvindretningen. Figuren til højre viser tilsvarende resultater fra målekampagne 3 med vindmåleren placeret ved bolig A. Hvis der er god sammenhæng vil punkterne ligge langs en ret linje ideelt set med hældningen 1. I figuren til venstre er der tydeligvis ingen god sammenhæng mellem vindhastigheden målt ved naboen og vindhastigheden fra vindmøllen. I figuren til højre er der en tydelig tendens. Figurerne viser, at det er nødvendigt at fastlægge i detaljer, hvorledes vindhastigheden skal bestemmes i forbindelse med gennemførelse af målinger ved naboerne.



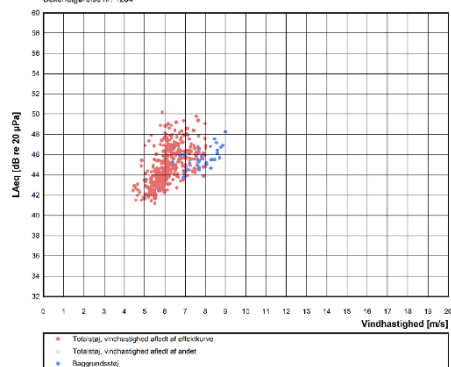
I nedenstående figurer er støjen målt i P4 (udendørs) ved bolig A for målekampagne 3 vist som funktion af den lokale vindhastighed målt i 10 m højde (venstre) og som funktion af vindhastigheden bestemt ud fra den producerede effekt for vindmølle 4. Det fremgår, at støjen ved boligen korrelerer væsentligt bedre med den lokale vindhastighed end vindhastigheden ved vindmøllerne. Dette indikerer at støjen er domineret af støj fra andre støjklender end vindmøllerne. Sandsynligvis vindstøj i vegetation og omgivelser. Såfremt vindhastigheden kun var målt ved boligen ville man i denne situation kunne konkludere forkert omkring støjens sammenhæng til vindmøllens drift.

Lydtrykniveau vs. vindhastighed

Bekendtgørelse nr. 1284

**Lydtrykniveau vs. vindhastighed**

Bekendtgørelse nr. 1284



Måling af støj hos vindmøllenaboen – Større vindmølle park

Målinger i dagperioden

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. Formålet med denne undersøgelse er at opnå viden om det er realistisk at dokumentere støjbelastningen fra vindmøller gennem direkte målinger - samt om der optræder fænomener uden for det vindhastighedsområde på 6 m/s til 8 m/s de gældende regler omfatter, der kan give anledning til revurdering af reglerne.

Undersøgelsen viser, at det er muligt at fastlægge støj fra vindmøller gennem direkte målinger ved naboerne – men at 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 af resultaterne at være større end ved anvendelse af de gældende retningslinjer. Omkostningerne til målingerne vil være større på grund af længere måletid, planlægning af måletidspunkt og forløb samt det faktum at der skal udføres individuelle målinger for hver bolig.

Der er ikke konstateret særlige støjmæssige forhold ved vindhastigheder uden for det normale vindhastighedsområde.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk