

SAILING NOISE

Windinduzierte Geräusche in der Takelage von Segelbooten

1 Anlass

An der Kieler Förde soll ein neuer Sportboothafen errichtet werden. Zur planungsrechtlichen Sicherung des Standortes wird ein Bebauungsplan erstellt. Im Rahmen des Bauleitverfahrens ist ein ausreichender Schallschutz der Wohnnachbarschaft gegenüber dem Sportboothafen nachzuweisen.

Darüber hinaus wird eine Nachbarschaftsklage gegen das Vorhaben beim Oberverwaltungsgericht Schleswig eingereicht.

*Bild kann vorübergehend
nicht angezeigt werden (April 2020)*

2 Motivation

Nach Auffassung der zuständigen Immissionsschutzbehörde sind die windinduzierten Geräusche in der Takelage von Segelyachten als technisches Geräusch im Sinne der Sportanlagenlärmverordnung (18. BImSchV) zu bewerten.

Das Strömungsgeräusch an Masten ist stark abhängig von Anströmrichtung und Windgeschwindigkeit. Eine Übertragung von Untersuchungsergebnissen von einem anderen Standort wird, auf Grund vermuteter anderer Windverhältnisse am geplanten Standort, als nicht zielführend angesehen.

3 Lösung

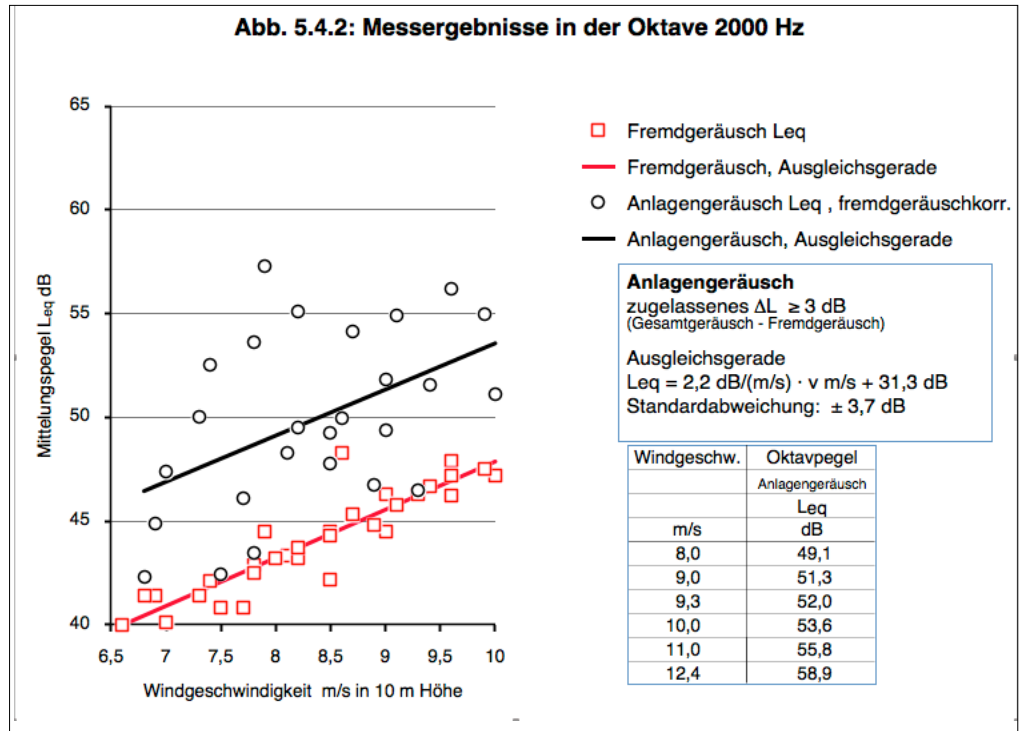
3.1 Wind

Nach ausführlicher Diskussion des Sachverhalts wird seitens des Staatlichen Umweltamtes des Landes Schleswig-Holstein (StUA) ein meteorologisches Gutachten in Auftrag gegeben, dass auf der Basis der Winddaten der Station Holtenau (Beobachtungszeitraum 1993 – 2002) eine Standardwindgeschwindigkeit von 8,7 m/s liefert. Das StUA geht von dem gerundeten Wert 9 m/s aus.

3.2 Messungen

Am 5.12.2003 werden schalltechnische Messungen zur Bestimmung der Geräuschemission windinduzierter Geräusche in der Takelage in einem Winterlager nahe des geplanten Standortes des Sportboothafens durchgeführt. Im Winterlager sind Segelyachten zum größten Teil mit stehendem Mast gelagert. Die Fallen sind weitgehend abgespannt.

Ziel der Messungen ist die spektrale Erfassung der Strömungsgeräusche an der Takelage der Segelyachten. Die Kenntnis des emittierten Schallspektrums ermöglicht eine differenziertere Berücksichtigung der frequenzabhängigen Vorgänge (z.B. Luftabsorption, Beugung an Hindernissen) in der Ausbreitungsrechnung als der pauschale Ansatz bei der Rechnung mit Summenpegeln.



Beispielhaftes Messergebnis in der 2000 Hz-Oktave

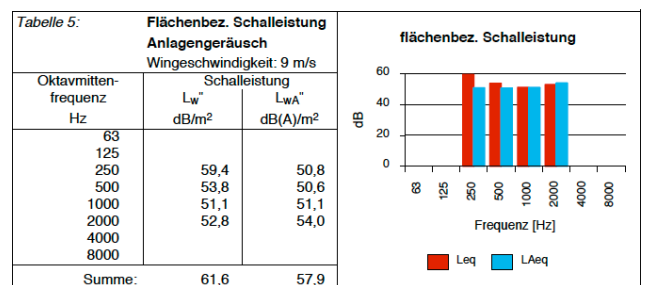
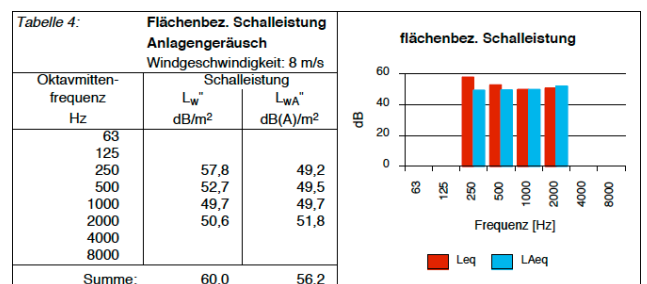
In der A-bewerteten spektralen Summe werden die Messergebnisse durch unabhängige Messungen eines zweiten Büros bestätigt.

Für die Auswertung werden nur Wertepaare mit einem Fremdgeräuschzustand von mindestens 3 dB zugelassen.

Die statistische Auswertung zeigt, dass für die gemessenen Schalldruckpegel in den Oktaven mit den Mittenfrequenzen 63 Hz, 125 Hz, 4000 Hz und 8000 Hz kein Zusammenhang mit dem Anlagengeräusch nachgewiesen werden kann.

In den einzelnen Oktaven zwischen 250 Hz bis 2000 Hz ergeben sich durch Regressionrechnung für Windgeschwindigkeiten von 8 m/s und 9 m/s die folgenden Schalldruckpegel.

Durch iterative Berechnungen werden unter Berücksichtigung der Geometrie des Messaufbaus und des schalltechnischen Modells die auf den Quadratmeter Liegefläche bezogenen Schalleistungen ermittelt.



Flächenbezogene Schalleistungen

3.3 Prognose Emission

Aus den messtechnisch ermittelten Zusammenhängen zwischen Windgeschwindigkeit und Geräuschemission lässt sich für beliebige Standorte unter Hinzuziehung einer standortbezogenen Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten über einen Jahreszeitraum (Beobachtungszeitraum 10 Jahre) die für den Standort maßgebliche Emission windinduzierter Geräusche prognostizieren.

Die Standardwindgeschwindigkeit für die Prognose windinduzierter Geräusche in der Takelage von Segelbooten im Sommerhalbjahr wird unter Berücksichtigung der Regelungen der 18. BImSchV festgelegt. Nach 18. BImSchV ist ein Ereignis selten, wenn es an nicht mehr als 18 Tagen im Jahr vorkommt. Die zu schützende kritische Beurteilungszeit ist die Nacht (22.00 – 6.00 Uhr). Die als Randbedingung für die Ermittlung der Emission windinduzierter Geräusche heranzuziehende Standardwindgeschwindigkeit, ist die Windgeschwindigkeit, die als windigste (lauteste) Stunde (Stundenmittel) während der Nacht nicht häufiger als 18 mal im Jahr vorkommt. Aus einem meteorologischen Gutachten des DWD leitet sich für die Nachtzeit eine Standardwindgeschwindigkeit als 97-Perzentil der zu erwartenden Windgeschwindigkeitshäufigkeit ab.

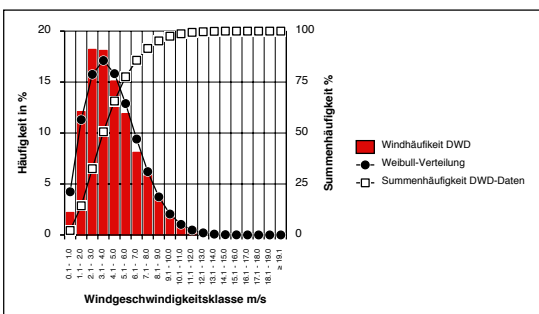
Auf Grundlage einer standortbezogenen Windstatistik wird eine Weibull-Verteilung über den Skalierungsparameter a und den Formparameter k kalibriert.

$$f_{\text{Weibull}}(|\vec{v}|) = \frac{k}{a} \cdot \left(\frac{|\vec{v}|}{a}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{|\vec{v}|}{a}\right)^k\right]$$

Auf dieser Basis lässt sich die Standardwindgeschwindigkeit für Lastfälle verschiedener Betriebszeiten (z.B. Sommerbetrieb: Boote im Wasser, Winterbetrieb: Bootslagerung an Land) berechnen. Auf dieser Grundlage wiederum ist die Emission windinduzierter Strömungsgeräusche zu prognostizieren.

Tab A 5.3: Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten im Jahreszeitraum

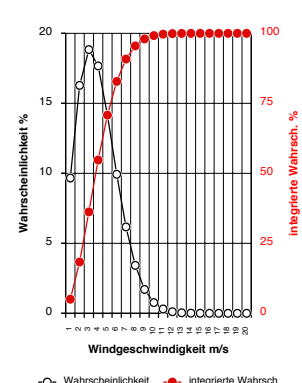
DWD-Daten Pelzerhaken				Weibull-Verteilung		a: 4,96 m/s	
Beobachtungszeitraum 10 Jahre (2007 – 2013)				Δv: 1,0 m/s		k: 1,97	
Lfd. Nr.	Windgeschw. Klasse m/s	Häufigkeit %	Summenhäufigkeit %	Windgeschw. m/s	Rechengröße	Wahrscheinlichkeit %	Integrierte Wahrscheinlichkeit %
1	0,1 - 1,0	2,2	2,2	0,5	0,01	4,24	1,1
2	1,1 - 2,0	12,1	14,3	1,5	0,09	11,31	9,0
3	2,1 - 3,0	18,2	32,5	2,5	0,26	15,75	22,9
4	3,1 - 4,0	18,1	50,6	3,5	0,50	17,11	39,5
5	4,1 - 5,0	15,1	65,7	4,5	0,82	15,83	56,2
6	5,1 - 6,0	11,9	77,6	5,5	1,22	12,89	70,6
7	6,1 - 7,0	8,1	85,7	6,5	1,70	9,41	81,8
8	7,1 - 8,0	5,8	91,5	7,5	2,26	6,21	89,5
9	8,1 - 9,0	3,7	95,2	8,5	2,89	3,73	94,4
10	9,1 - 10,0	2,3	97,5	9,5	3,59	2,05	97,2
11	10,1 - 11,0	1,2	98,7	10,5	4,38	1,03	98,7
12	11,1 - 12,0	0,7	99,4	11,5	5,23	0,48	99,5
13	12,1 - 13,0	0,3	99,7	12,5	6,17	0,20	99,8
14	13,1 - 14,0	0,2	99,9	13,5	7,18	0,08	99,9
15	14,1 - 15,0	0,1	100	14,5	8,26	0,03	100,0
16	15,1 - 16,0	0,0	100	15,5	9,43	0,01	100,0
17	16,1 - 17,0	0,0	100	16,5	10,66	0,00	100,0
18	17,1 - 18,0	0,0	100	17,5	11,97	0,00	100,0
19	18,1 - 19,0	0,0	100	18,5	13,36	0,00	100,0
20	≥ 19,1	0,0	100	19,5	14,82	0,00	100,0
Mittel		4,4		4,4			



Weibull-Verteilung
Die Weibull-Verteilung liefert die Wahrscheinlichkeitsdichte für das Auftreten bestimmter Windgeschwindigkeiten.
Skalierungsparameter a [m/s]
Der Faktor wird aus der gegebenen mittleren Windgeschwindigkeit abgeleitet.
Formfaktor k (dimensionslos)
Der Faktor wird über eine Ausgleichsrechnung aus der gegebenen Häufigkeitsverteilung abgeleitet.

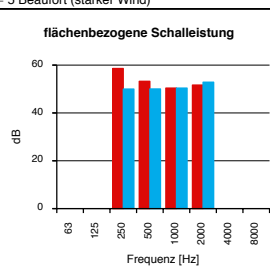
Tab A 5.4: Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Windgeschwindigkeiten im Sommer (April – Oktober)

Weibull-Verteilung					a: 4,50 m/s		k: 1,97		Δv: 1 m/s	
Lfd. Nr.	Windgeschw. m/s	Rechengröße	Wahrscheinlichkeit %	integrierte Wahrscheinlichkeit %	Wahrscheinlichkeit %	integrierte Wahrscheinlichkeit %				
1	1	0,05	9,66	5,0						
2	2	0,20	16,28	18,3						
3	3	0,45	18,84	36,2						
4	4	0,79	17,67	54,7						
5	5	1,23	14,16	70,8						
6	6	1,76	9,93	82,8						
7	7	2,39	6,17	90,8						
8	8	3,11	3,42	95,5						
9	9	3,92	1,71	98,0						
10	10	4,82	0,77	99,2						
11	11	5,82	0,31	99,7						
12	12	6,90	0,11	99,9						
13	13	8,08	0,04	100,0						
14	14	9,35	0,01	100,0						
15	15	10,72	0,00	100,0						
16	16	12,17	0,00	100,0						
17	17	13,71	0,00	100,0						
18	18	15,35	0,00	100,0						
19	19	17,07	0,00	100,0						
20	20	18,89	0,00	100,0						
Mittel		8,5		97,0						
Perzentil	4,0	3,50	2,45							



Tab A 5.5: Flächenbezogene Schalleistung

Anlagen Geräusch windinduzierter Geräusche in der Takelage von Segelbooten			Wingeschwindigkeit: 8,5 m/s		5 Beaufort (starker Wind)	
Oktavmittelfrequenz Hz	Schalleistung L_w dB/m ²	L_{wA} dB(A)/m ²	flächenbezogene Schalleistung			
63	2)					
125	2)					
250	58,6	50,0				
500	53,2	50,0				
1000	50,4	50,4				
2000	51,7	52,9				
4000	2)					
8000	2)					
Summe:	60,8	57,0				
Impulse K_1 1)	0 dB					
Ton K_2 2)	0 dB					



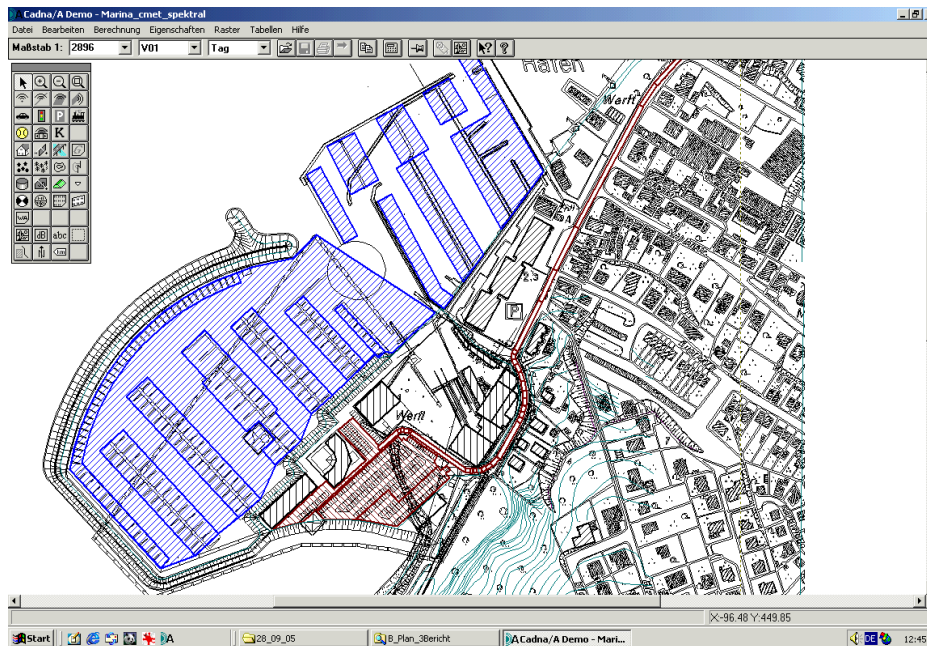
1) Fallen, Stagen und Leinen müssen nach Haltenordnung abgebunden werden, um störende Impulsgeräusche zu mindern
2) messtechnisch nicht vom Fremdgeräusch zu trennen
3) Pfeifgeräusche in der Takelage sind nicht zu erwarten, es wird kein Tonzuschlag K_T erteilt.

Standort Pelzerhaken: Ableitung der Schalleistung

3.4 Prognose Immission

Die Prognose der Geräuschimmission am Einwirkort erfolgt spektral entsprechend ISO 9613-2.

Die Windrichtungsverteilung für den zu betrachtenden Standort wird dabei schalltechnisch durch die Bildung einer meteorologischen Korrektur nach ISO 9613-2 berücksichtigt. Daraus ergibt sich, dass die Ausbreitungsrechnung für den Sportboothafenbetrieb nicht nach VDI 2714 erfolgt – wie in der 18. BImSchV vorgesehen – sondern nach ISO 9613-2, um entsprechend dem Stand der Technik die örtlichen Windverhältnisse schalltechnisch berücksichtigen zu können.



4 Ergebnis

Die beschriebene Methodik hält auch der gerichtlichen Prüfung Stand, der Bebauungsplan kann vorangetrieben und durch die Gemeinde beschlossen werden.

Der Sportboothafen wird unter Einhaltung immissionsschutzrechtlicher Anforderungen gebaut.

Die Prognose und Beurteilung windinduzierter Geräusche in der Takelage von Segelbooten ist für beliebige Standorte mit projektbezogenen jahreszeitlichen Betriebszeiten möglich.