

The background of the slide is a photograph of a rural landscape. In the foreground, there is a brown, plowed field. Behind it, a small village with several houses is visible. In the background, a large, forested hill rises, topped with several white wind turbines. The sky is blue with some light clouds.

Begleitgruppensitzung 30. August 2016

Fachbeitrag Schall / Lärm

Etwas Physik...

- Schallwellen gehören zu den, mechanischen longitudinalen Kugelwellen. Die Dämpfung der Welle hängt vom Medium und der Distanz ab.
- Schallwellen sind im wesentlichen Druckänderungen: sie haben eine Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit, erzeugen einen Schalldruck ($p[\text{Pa}]$) und Schalleistung ($P[\text{W}]$) – (Die WKA hat eine Schalleistung und das erzeugt Schalldruck)
- Schallwellen verbreiten sich in Luft (bei 20°C, Normaldruck) mit $c = 344 \text{ m/s}$
- Ton: Frequenz = Tonhöhe, Amplitude = Lautstärke
 - Wird als charakterlos, eintönig, monochromatisch empfunden
- Klang: Mehrere Töne und mehrere Amplituden
- Geräusch:
 - Weisses Rauschen: gleiche Energiedichte über das ganze Spektrum
 - Bestimmte Frequenzgebiete treten hervor: hell, dunkel, spitz, dumpf...
 - Bei kurzer Zeitdauer: Knacken, Knall

Schallwahrnehmung durch Gehör

- Das Gehör arbeitet besonders gut bei $2\text{kHz} < f < 5\text{kHz}$
 - Hörschwelle und die Schmerzgrenze ist abhängig von Alter und Geschlecht
 - Empfindet Lautstärke als Funktion der spektralen Zusammensetzung (Klang)
 - Empfindet schmalbandige Geräusche leiser als breitbandige (Ton vs Klang - Spektrum)
- Konsequenz:
- Um die Lautstärke an einem bestimmten Ort zu messen müsste eine Spektralanalyse gemacht werden: sehr kompliziert und nicht durchführbar.
 - Aber: Hersteller von Windanlagen publizieren (Lärm)-Spektrum bezogen auf die Anlage.
 - Diese Daten werden von Spezialisten benötigt um eine Darstellung der Lärmbelastung unter idealen Verhältnissen (windstill, Norm-Luftdruck, keine Dämpfung durch Bewuchs, ...) zu errechnen.
- Fazit:
- Vereinfachte (standardisierte) Darstellung des Schalldruckpegels $p[\text{Pa}]$ auf einer Karte.
 - Infraschall ist nicht Teil der Schallwahrnehmung des menschlichen Gehörs (Kapitel in UVP)

Schallgutachten erstellt - Was wurde gemacht

Arbeitsschritte der Erstellung des Schallgutachtens

- Aufarbeitung der Basisinformationen mit prof. Planungssoftware WindPro 3.0 (Digitales Höhenmodell, Windenergieanlagen (Positionen), Windgeschwindigkeits-Häufigkeitsverteilung etc.)
- Klärung der Korrekturfaktoren im Kanton (Faktoren K1 – K3)
- Schallgutachten
 - Definition der Schallimmissionspunkte
 - Schallberechnung mit WindPro 3.0 nach DIN ISO 9613-2
 - Erstellung Gutachten

Berechnungsgrundlagen

- Immissionsberechnung nach DIN ISO 9613-2
 - Schallberechnung nach international anerkannter Vorschrift (Empfehlung der EMPA)
- Berechnungsvoraussetzungen
 - Schalldämpfung aufgrund des Bodeneffekts anhand der Topografie berechnet.
 - Hintergrundgeräusche werden nicht berücksichtigt.
 - Die Immissionen durch WEA werden an jedem Schallimmissionsort mit den dort angegebenen Immissionsrichtwerten verglichen.
 - Der Schall wird auf einer Höhe von 5m über Grund beurteilt.
 - Die WEA wird aufgrund ausreichendem Abstand zu Nutzungsräumen als Punktquelle betrachtet.
 - Die Schallberechnung wird mit einer räumlichen Auflösung von 10m durchgeführt.
 - Die Hindernisse (Bäume, Büsche, andere Gebäude) werden nicht berücksichtigt.

Rechtliche Grundlage - Lärmschutzverordnung

- Umweltgesetz USG resp. Lärmschutzverordnung LSV als CH Rechtsgrundlage
- Lärmempfindlichkeitsstufe je nach Dichte der Bebauung (II Ramsen / III Chroobach)

Empfindlichkeitsstufe ES (Art. 43)	Planungswert Lr in dB(A)	
	Tag	Nacht
I Erholungszone	50	40
II Wohnzone / öff. Bauten	55	45
III Wohn- Gewerbe- Landwirtschaftszone	60	50
IV Industriezone	65	55

Tab. 4: Planungswerte für Industrie- und Gewerbelärm in Abhängigkeit von der Empfindlichkeitsstufe und der Tageszeit (Ziffer 2 Anhang 6 LSV)

- Formel zur Berechnung des Beurteilungspegel Lr,i (Pegelkorrekturen: K1 (Art der Lärmquelle), K2 (Tongehalt), K3 (Impulsgehalt)):

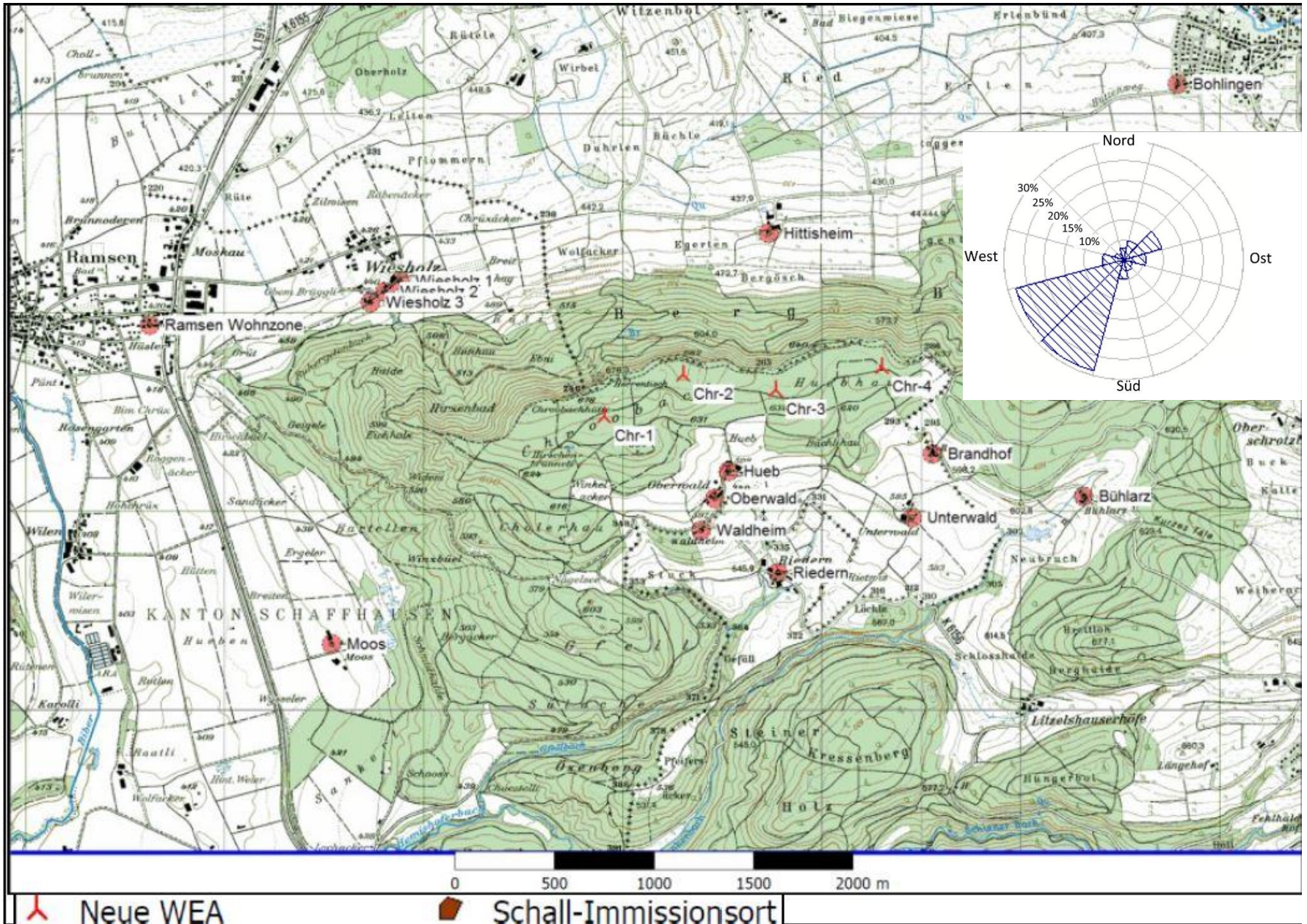
$$L_{r,i} = L_{eq,i} + K_{1,i} + K_{2,i} + K_{3,i} + 10 \cdot \log(t_i/720)$$

Gesetzgebung D - CH

Kriterium	Deutsche Gesetzgebung	Schweizer Gesetzgebung
Lärmphasen	Keine Berücksichtigung von unterschiedlichen Lärmphasen	Berücksichtigung von unterschiedlichen Lärmphasen
Massgebender Beurteilungspegel	Lautester Schallleistungspegel bis Erreichen von 95% der Nennleistung der WEA	Energetische Addition aus den Teilbeurteilungspegeln der einzelnen Lärmphasen
Pegelkorrekturen (sind im Beurteilungspegel eingerechnet)	Tonhaltigkeit K_T zwischen 0 und 6 (bei modernen WEA 0) Impulshaltigkeit K_I zwischen 0 und 6 (bei modernen WEA meistens 0)	$K1 = 5$ $K2 = 0$ $K3$ zwischen 0 und 4
Prognoseunsicherheit	Wird anhand des sog. oberen Vertrauensbereichs in den Beurteilungspegel eingerechnet (meistens 2-3 dB)	Wird nicht in den Beurteilungspegel eingerechnet
Planungs- resp. Immissionsrichtwerte	Ca. 5 dB strenger als in der Schweiz	Abhängig von Lärmempfindlichkeitsstufe ES
Unterscheidung Tag / Nacht	Tag: 06:00 – 22:00 Nacht: 22:00 – 06:00	Tag: 07:00 – 19:00 Nacht: 19:00 – 07:00

Tab. 5: Wesentliche Unterschiede zwischen Deutscher und Schweizer Gesetzgebung bzgl. Beurteilung des Lärms von WEA.

Die Gesetzgebung CH – D ist nicht direkt vergleichbar. Resultate der CH Berechnungen gelten als Indikation für D Standorte



Ergebnisse des Schallgutachtens TAG

Schallimmissionsort		Beurteilungspegel Tag	Planungswert Tag	Differenz Beurteilungspegel- Planungswert
		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
A	Hittisheim	45.7	60	-14.3
B	Brandhof	47.3	60	-12.7
C	Unterwald	44.7	60	-15.3
D	Hueb	49.9	60	-10.1
E	Oberwald	48.4	60	-11.6
F	Waldheim	46.7	60	-13.3
G	Riedern	44.2	60	-15.8
H	Wiesholz 1	39.7	60	-20.3
I	Wiesholz 2	39.5	60	-20.5
J	Wiesholz 3	39.0	60	-21.0
K	Moos	35.6	60	-24.4
L	Bühlarz	39.7	60	-20.3
M	Bohlingen	34.0	55	-21.0
N	Ramsen	32.7	55	-22.3

	Immissionsorte in der Schweiz
	Immissionsorte in Deutschland

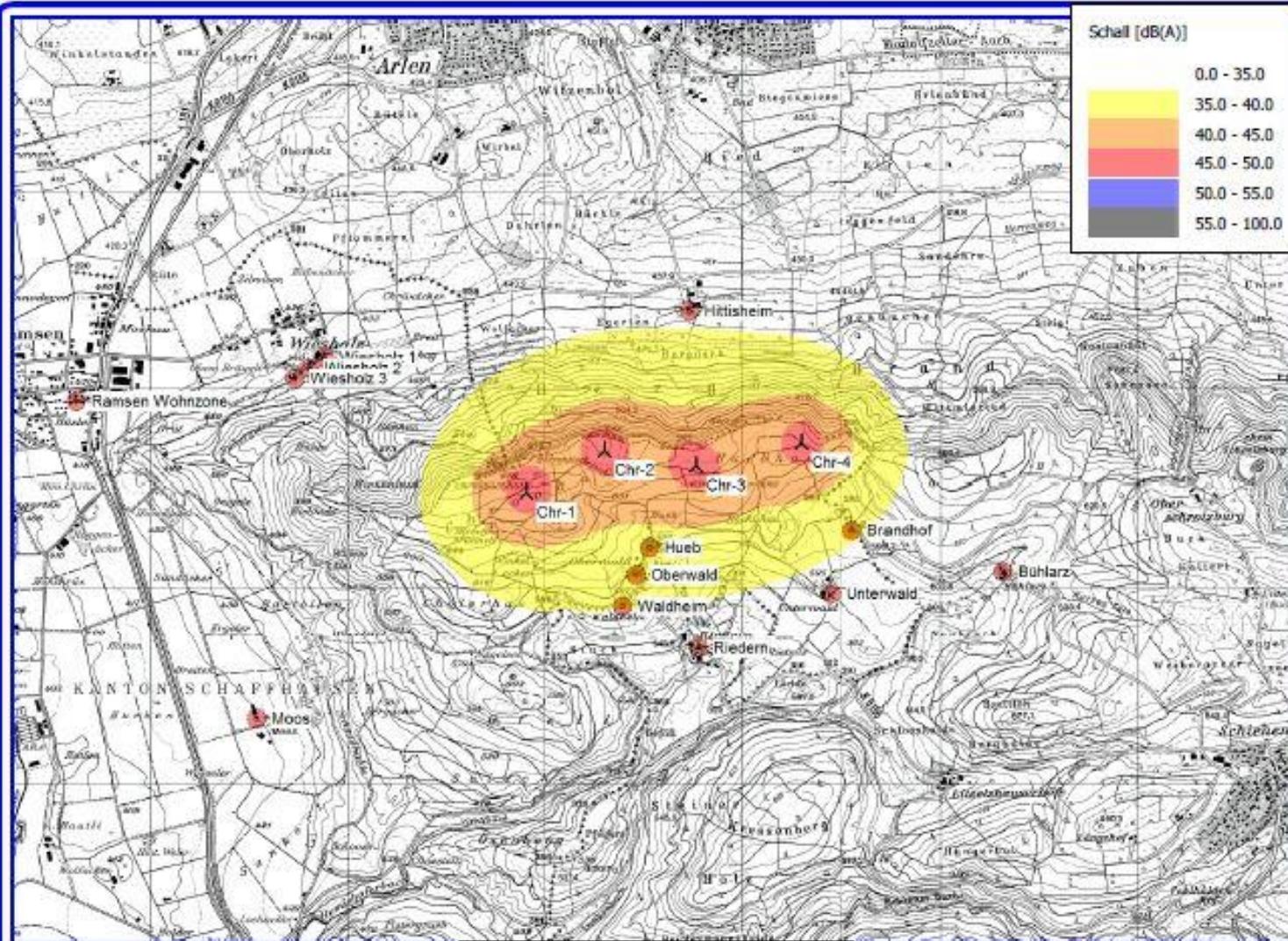
Tab. 11: Beurteilungspegel am Tag an den einzelnen Schallimmissionsorten ($K3=4$); alle WEA laufen mit voller Leistung.

Ergebnisse des Schallgutachtens NACHT

Schallimmissionsort		Beurteilungspegel Nacht	Planungswert Nacht	Differenz Beurteilungspegel- Planungswert	
		[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	
A	Hittisheim	45.7	45	+0.7	●
B	Brandhof	47.3	45	+2.3	●
C	Unterwald	44.7	50	-5.3	
D	Hueb	49.9	50	-0.1	●
E	Oberwald	48.4	50	-1.6	●
F	Waldheim	46.7	45	+1.7	●
G	Riedern	44.2	45	-0.8	
H	Wiesholz 1	39.7	50	-10.3	
I	Wiesholz 2	39.4	50	-10.6	
J	Wiesholz 3	39.0	50	-11.0	
K	Moos	35.6	50	-14.4	
L	Bühlarz	39.7	45	-5.3	
M	Bohlingen	34.0	40	-6.0	
N	Ramsen	32.7	45	-12.3	

	Immissionsorte in der Schweiz
	Immissionsorte in Deutschland

Tab. 15: Beurteilungspegel in der Nacht an den einzelnen Schallimmissionsorten ($K3=4$); alle WEA laufen mit voller Leistung, sind aber mit TES = sog. Hinterkantenkämme ausgestattet.



Projekt:
Chroobach_2016-05-31

DECIBEL -
Karte 6.0 m/s

Berechnung:
Wert 3.0-11.5 Umrundungen 47.5dB resp. 6m/s auf Nebenhöhe

ca. 17 % der Zeit

Gerechtfertigter Anwender:
New Energy Scout GmbH
Neuwiesenstrasse 95
CH-8400 Winterthur
+41 52 728 92 70

Berechnet:
29.08.2016 15:21/3.0.654

Karte: LK25-sw, Maßstab 1:30'000, Mitte: Geo WGS 84 Ost: 8°51'32.39" O Nord: 47°42'11.97" N
Schallberechnungs-Modell: ISO 9613-2 Allgemein, Windgeschw.: 6.0 m/s



Technische Massnahmen von Herstellern zur Reduktion von Immissionen

Technische Anpassungen an Rotoren / Schallreduzierte Betriebsmodi

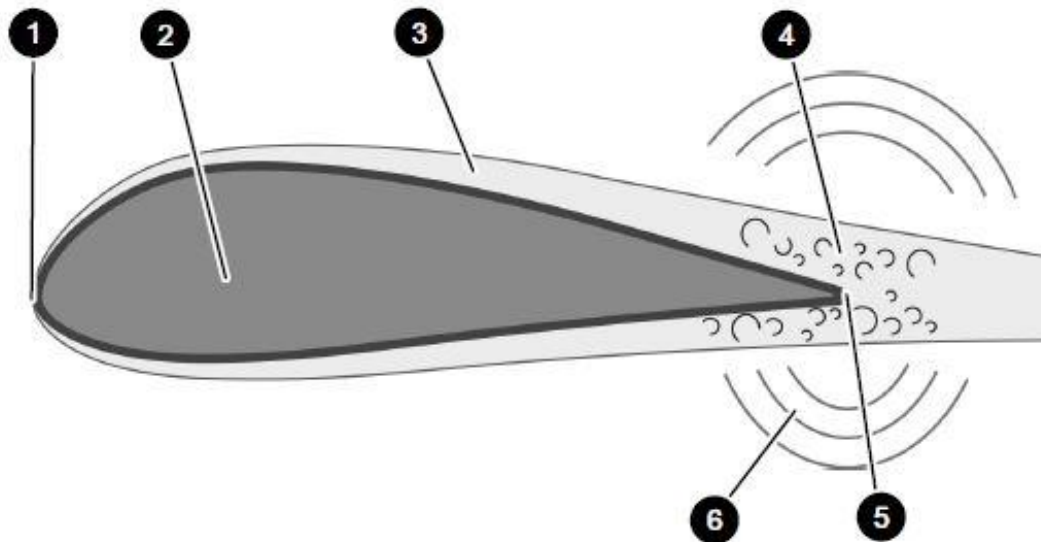


Abb. 2: Prinzipieller Mechanismus des Hinterkantengeräuschs

1	Vorderkante	4	turbulente Grenzschicht
2	Querschnitt des Rotorblatts	5	Hinterkante
3	Grenzschicht	6	Emission der Hinterkante



Fazit

- Schweizer Grenzwerte werden überall eingehalten. Deutsche Grenzwerte teilweise anders. Ziel ist es länderspezifisch die Grenzwerte einzuhalten.
- Grenzwerte werden trotz Berücksichtigung von $K3 = 4\text{dB}$ am Tag an allen Untersuchungspunkten eingehalten. In der Nacht sind gewisse Punkte näher zu prüfen. (Detailbeurteilung der Unterschiede D – CH notwendig)
- **Verschiebungen von Anlagenstandorten** sowie **Anpassungen am Windenergietypen** bedingen erneute Berechnungen
- Wo notwendig entscheidet sich die Projektgemeinschaft für **immissionsärmere Rotorenblätter** oder die Anwendung von **schallreduzierten Betriebsmodi** in der Nacht.

**Begleitgruppensitzung
30. August 2016**

Fachbeitrag Schall / Lärm – FRAGEN?