



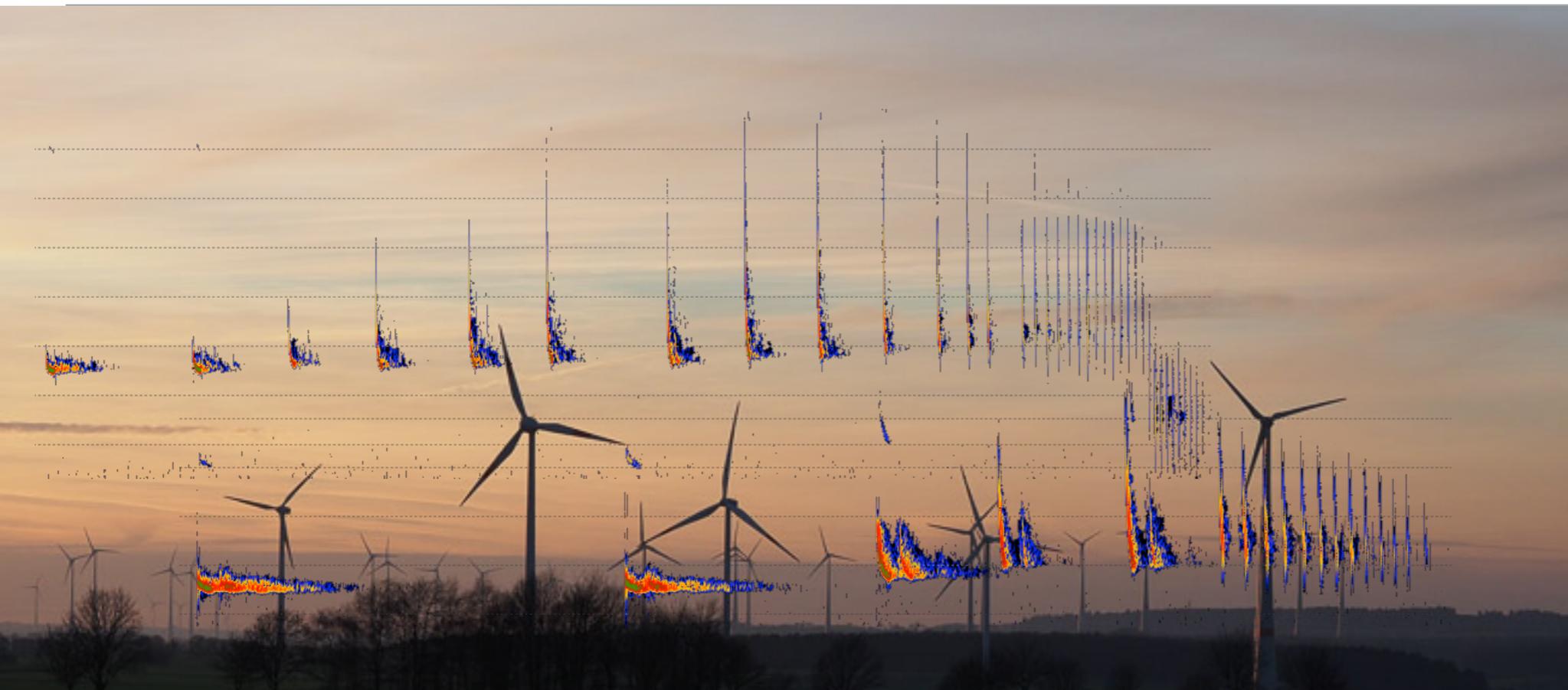
HÖRT DOCH WAS IHR WOLLT

---

# AKUSTISCHES MONITORING AN WINDKRAFTANLAGEN



Volker Runkel



- ▶ mittels Detektor Ortungsrufe aufzeichnen
  - ▶ am Boden, am Mast, an der Gondel
- ▶ Aktivitätsmuster für Abschaltungen
  - ▶ erste Anfänge ca. 2005
  - ▶ systematischer Einsatz seit ca. 2014





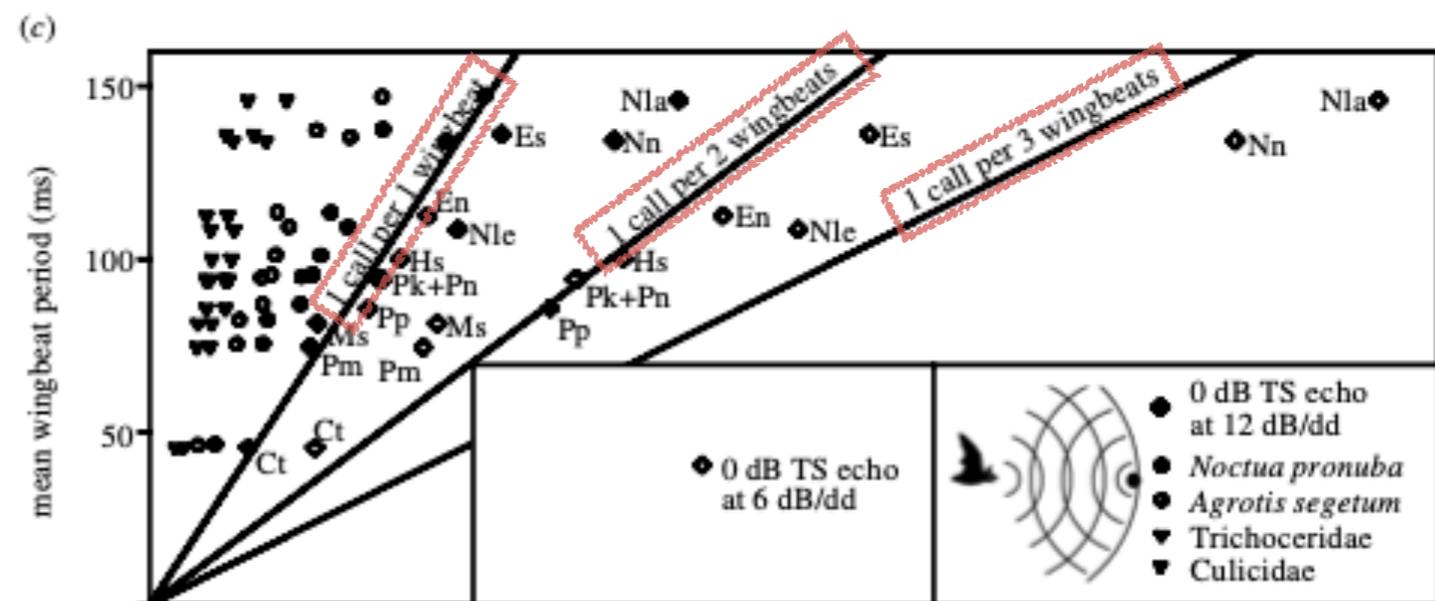
FLEDERMAUS

---

ECHOOORTUNG

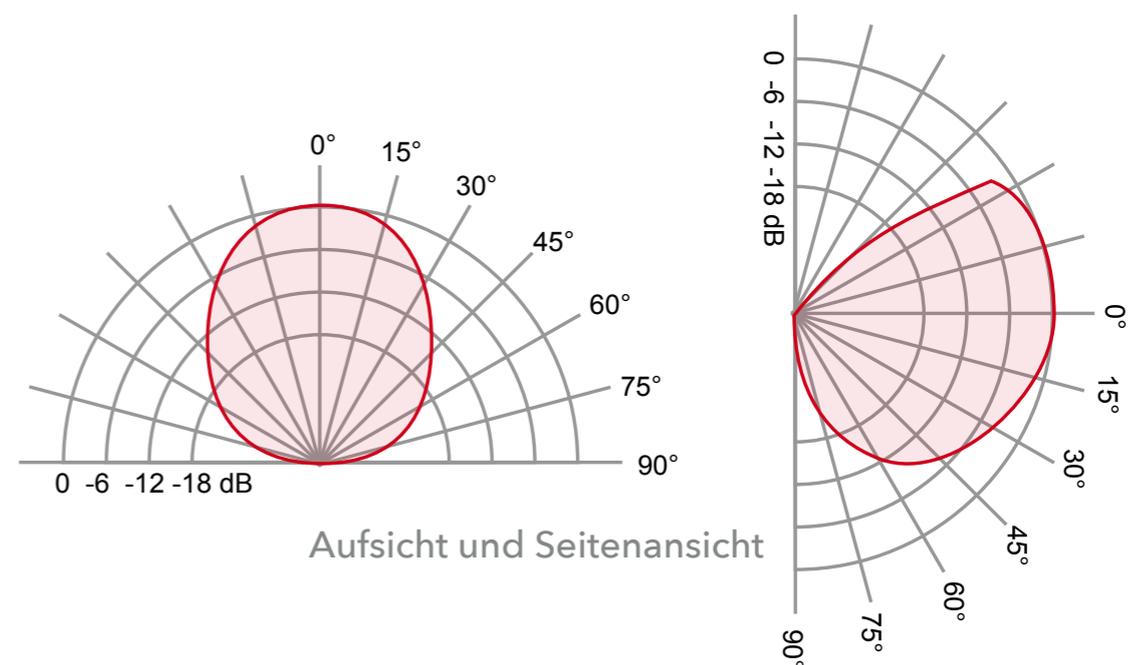
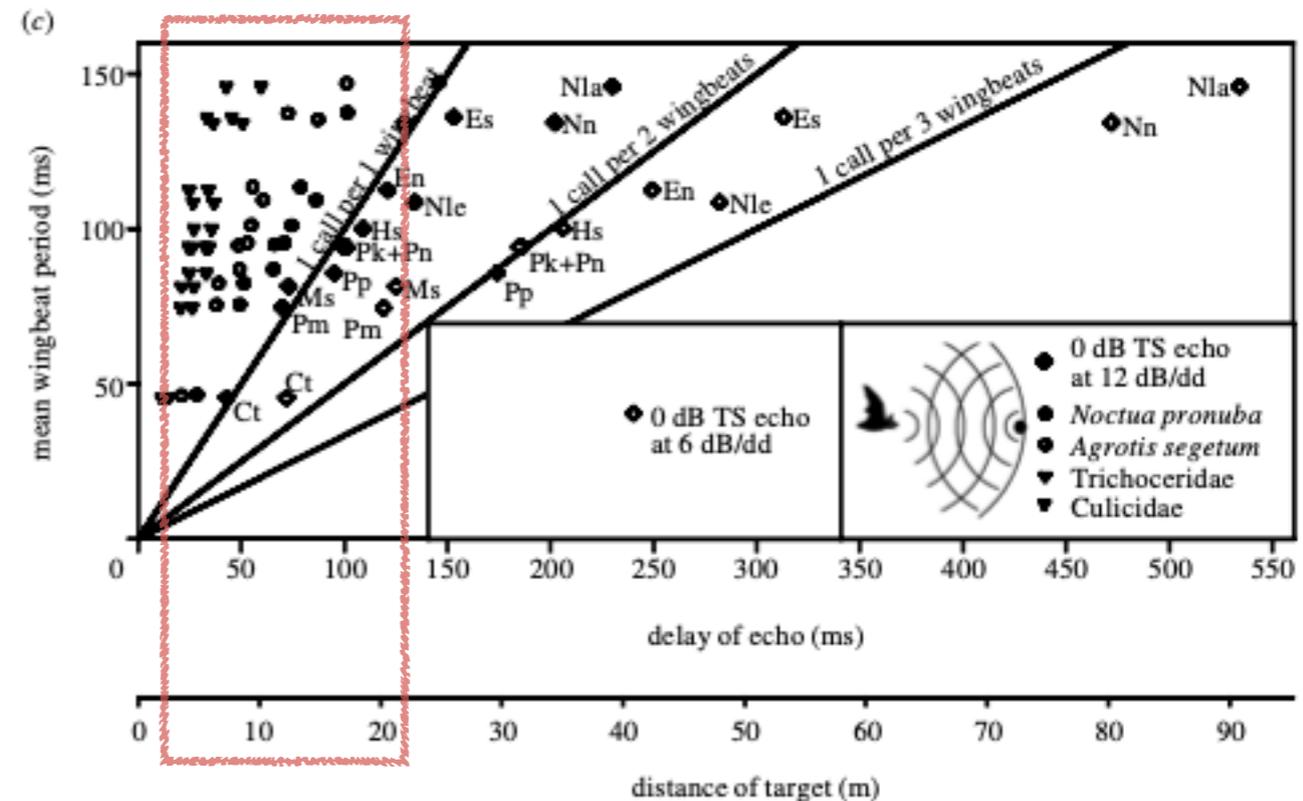
# ECHOORTUNG

- ▶ Ultraschall
  - ▶ 17 bis 170 kHz
- ▶ Stroboskop
  - ▶ Ortungsrufe teils 10 bis 0,5 je Sekunde
  - ▶ abhängig von Situation
  - ▶ kurze Laute (wenige Millisekunden)



## ECHOORTUNG

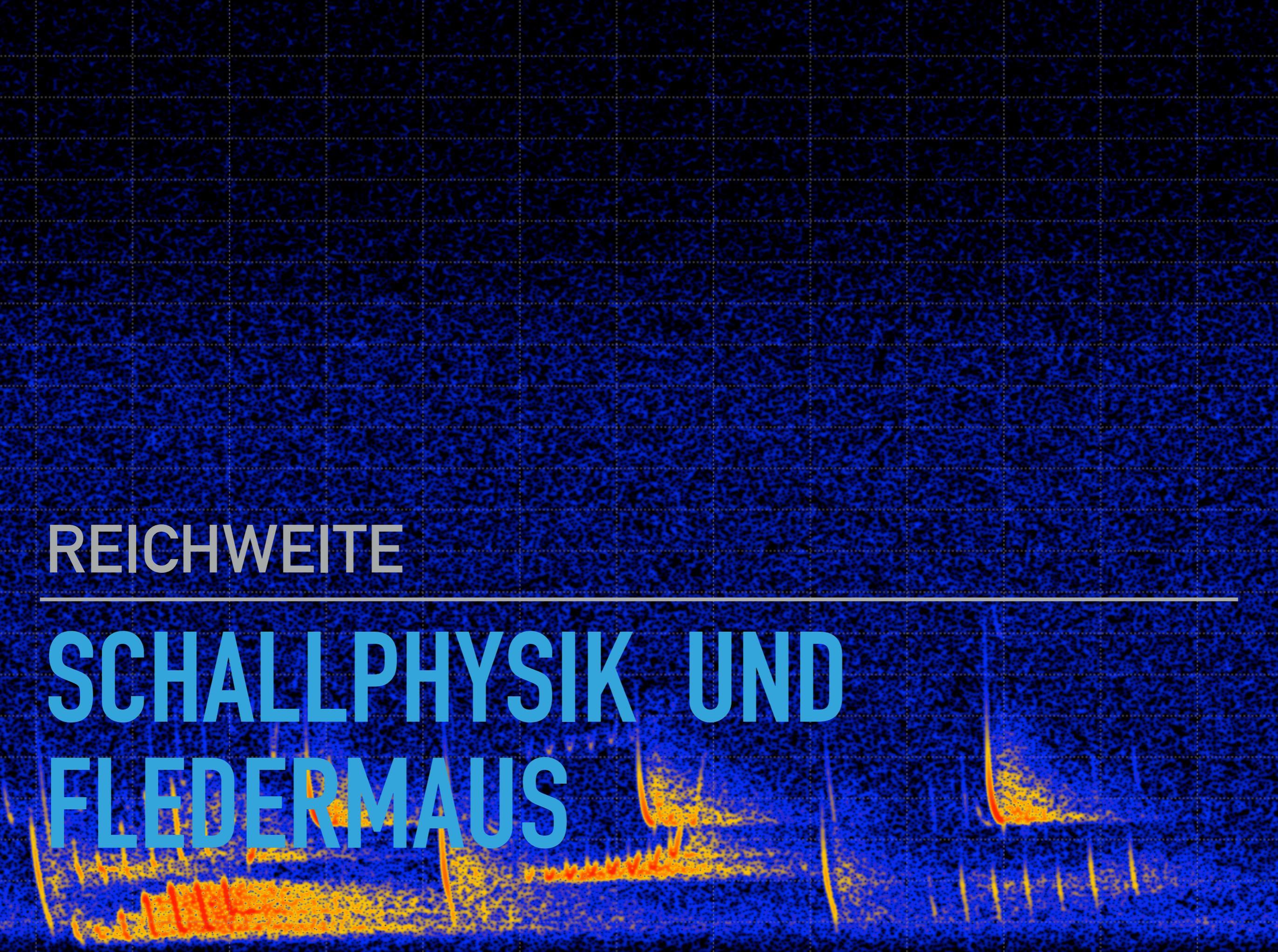
- ▶ Stroboskop
- ▶ teils geringe Reichweite
  - ▶ wenige Meter bis
  - ▶ selten > 50 Meter
- ▶ Fokus
  - ▶ nur Teilbereiche der Umgebung



REICHWEITE

---

# SCHALLPHYSIK UND FLEDERMAUS

A spectrogram showing the frequency spectrum of bat echolocation calls over time. The vertical axis represents frequency, and the horizontal axis represents time. The calls are characterized by short, high-frequency pulses that sweep downwards in frequency, followed by a series of lower-frequency harmonics. The background is a dark blue grid, and the call energy is shown in bright yellow and orange.

## DETEKTIONSREICHWEITE

- ▶ abhängig von
  - ▶ Schallphysik
  - ▶ „Ruflautstärke“
  - ▶ Ruf-Richtung



**KEINE EINFLUSSNAHME  
MÖGLICH**

# SCHALLAUSBREITUNG

## ▶ Geometrische Abschwächung

▶ Verdoppelung der Distanz resultiert in Halbierung des

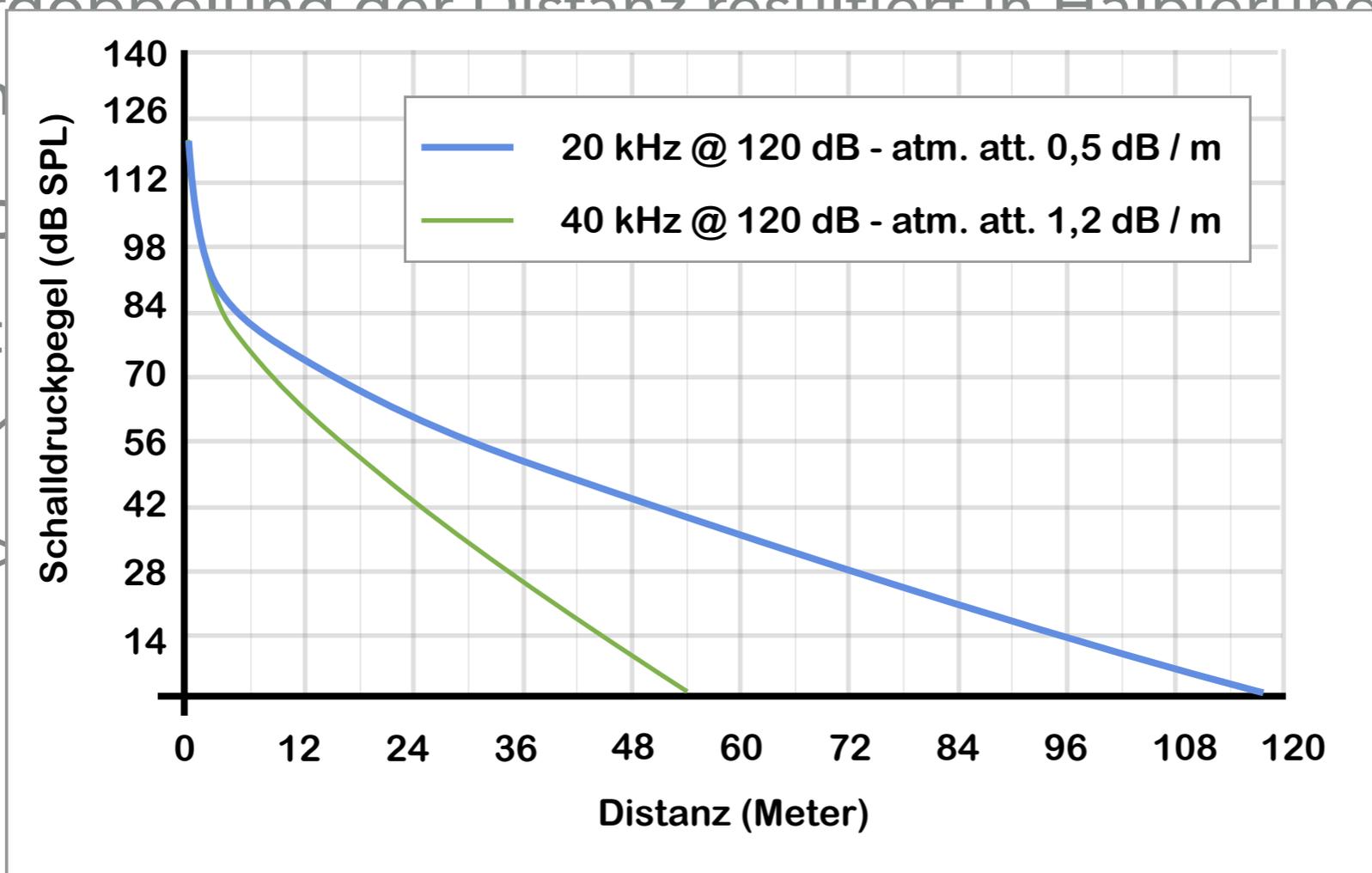
Sch

## ▶ Atmo

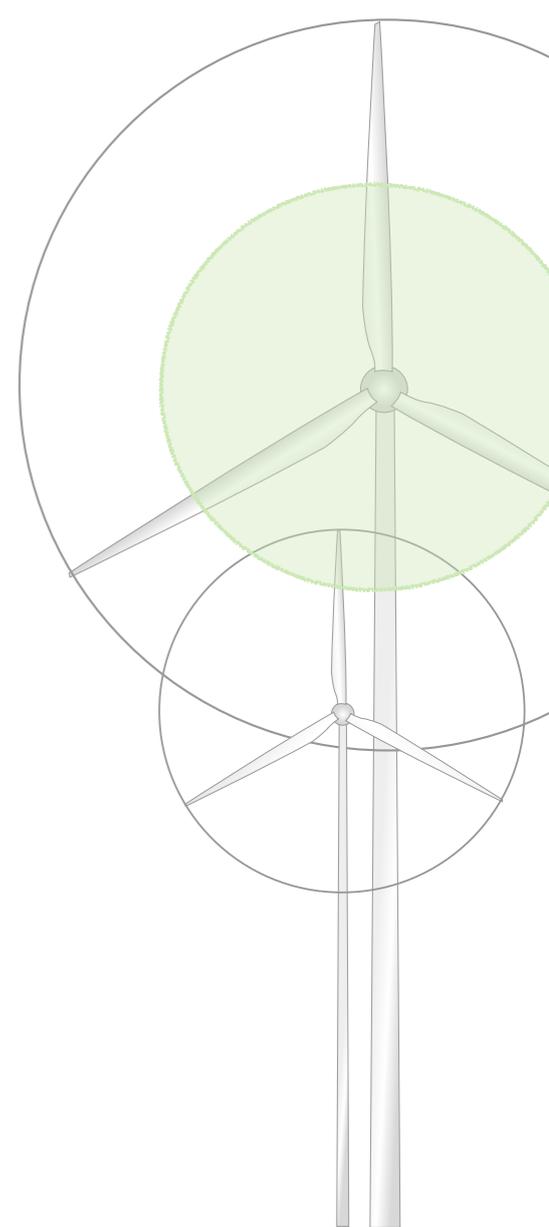
▶ ent

▶

▶

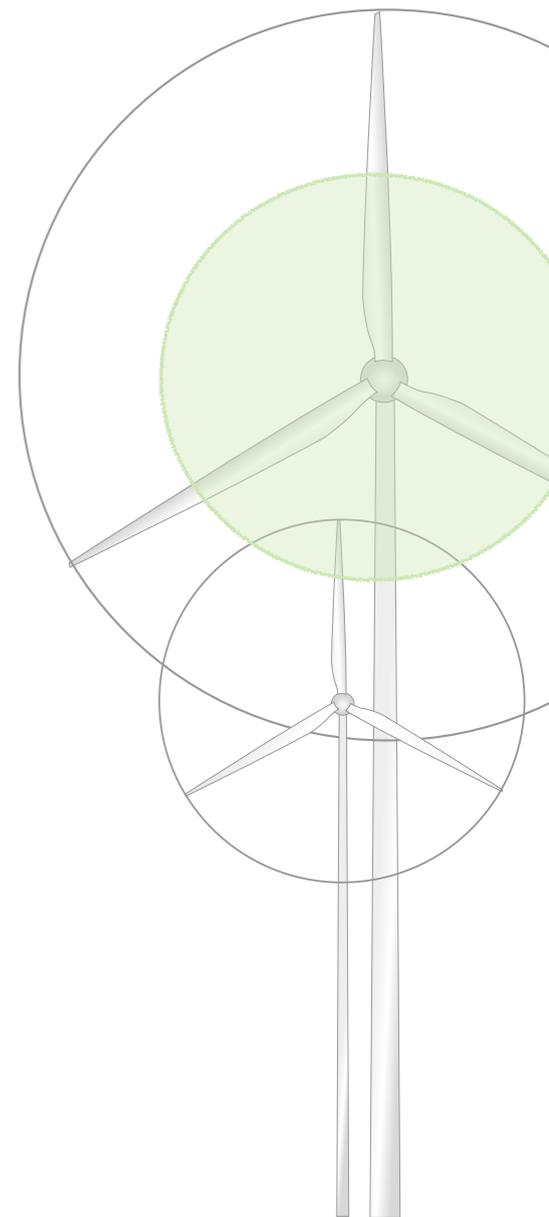
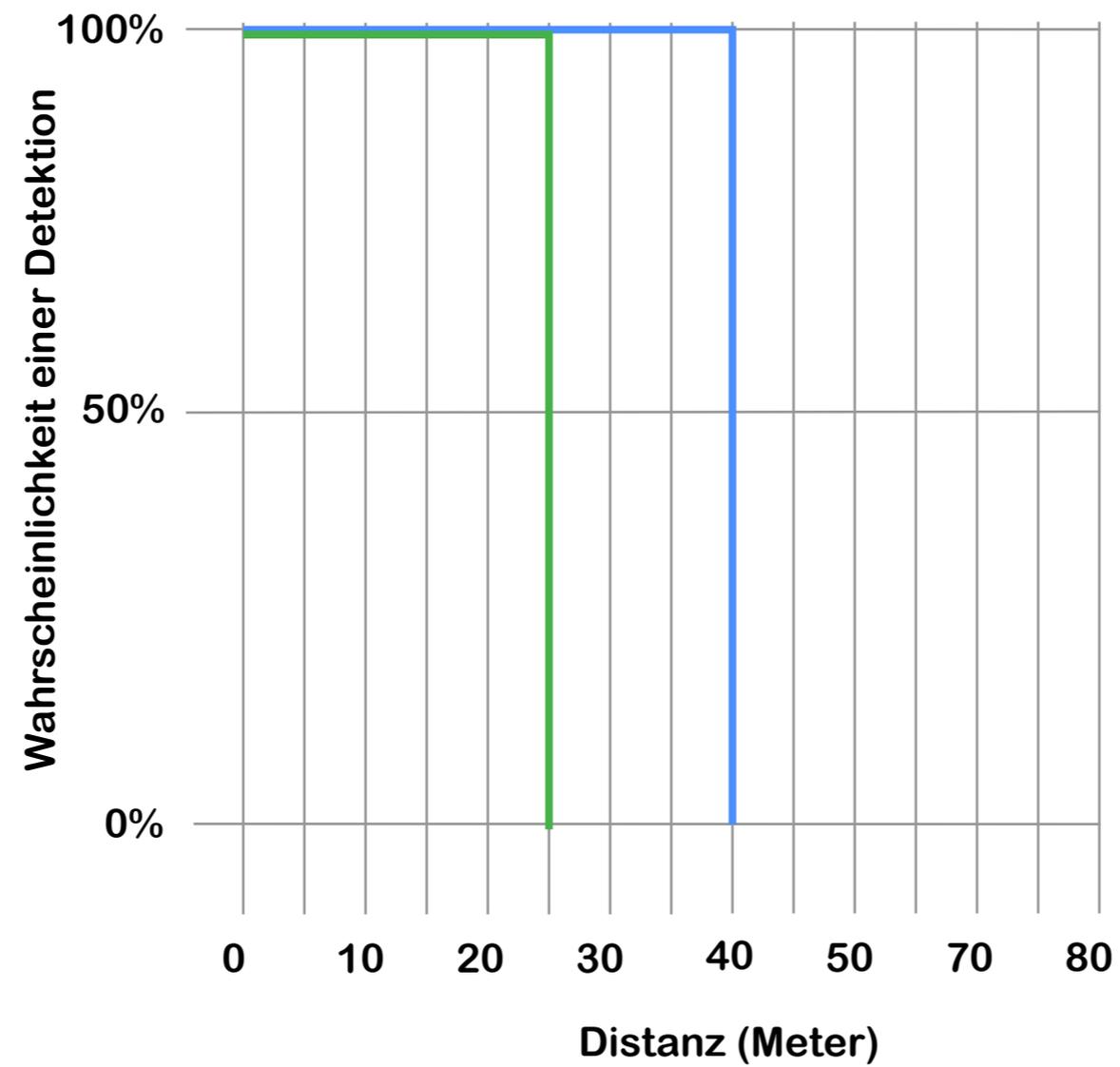


enz



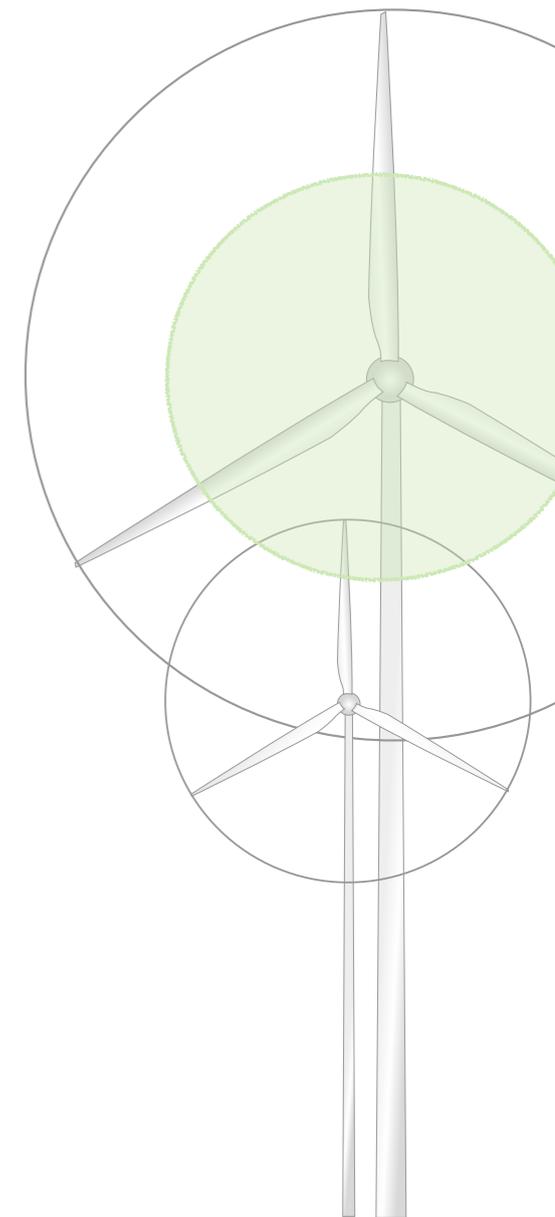
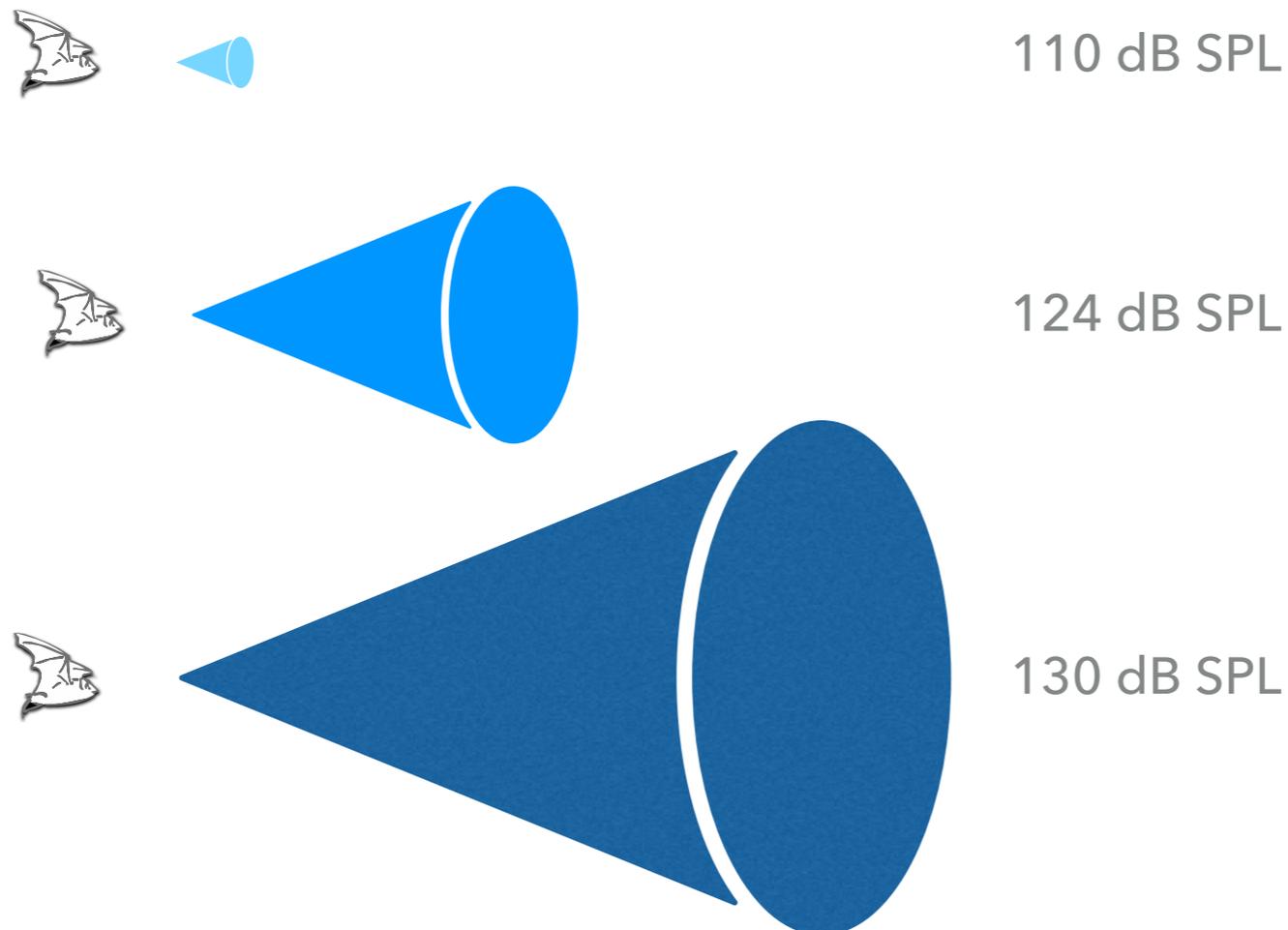
# SCHALLAUSBREITUNG

## Ruf-Reichweite



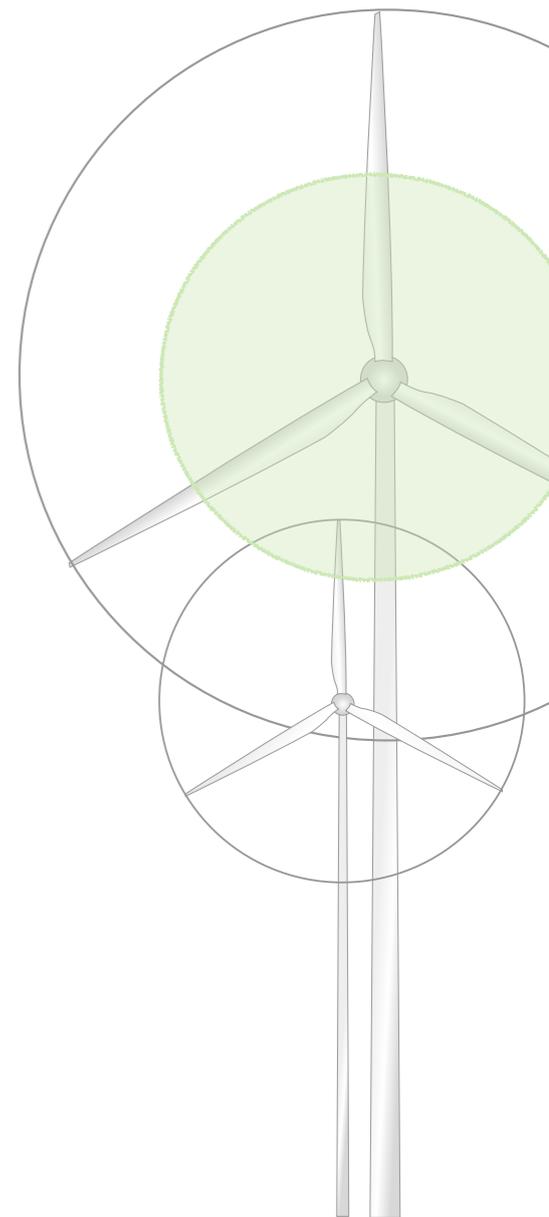
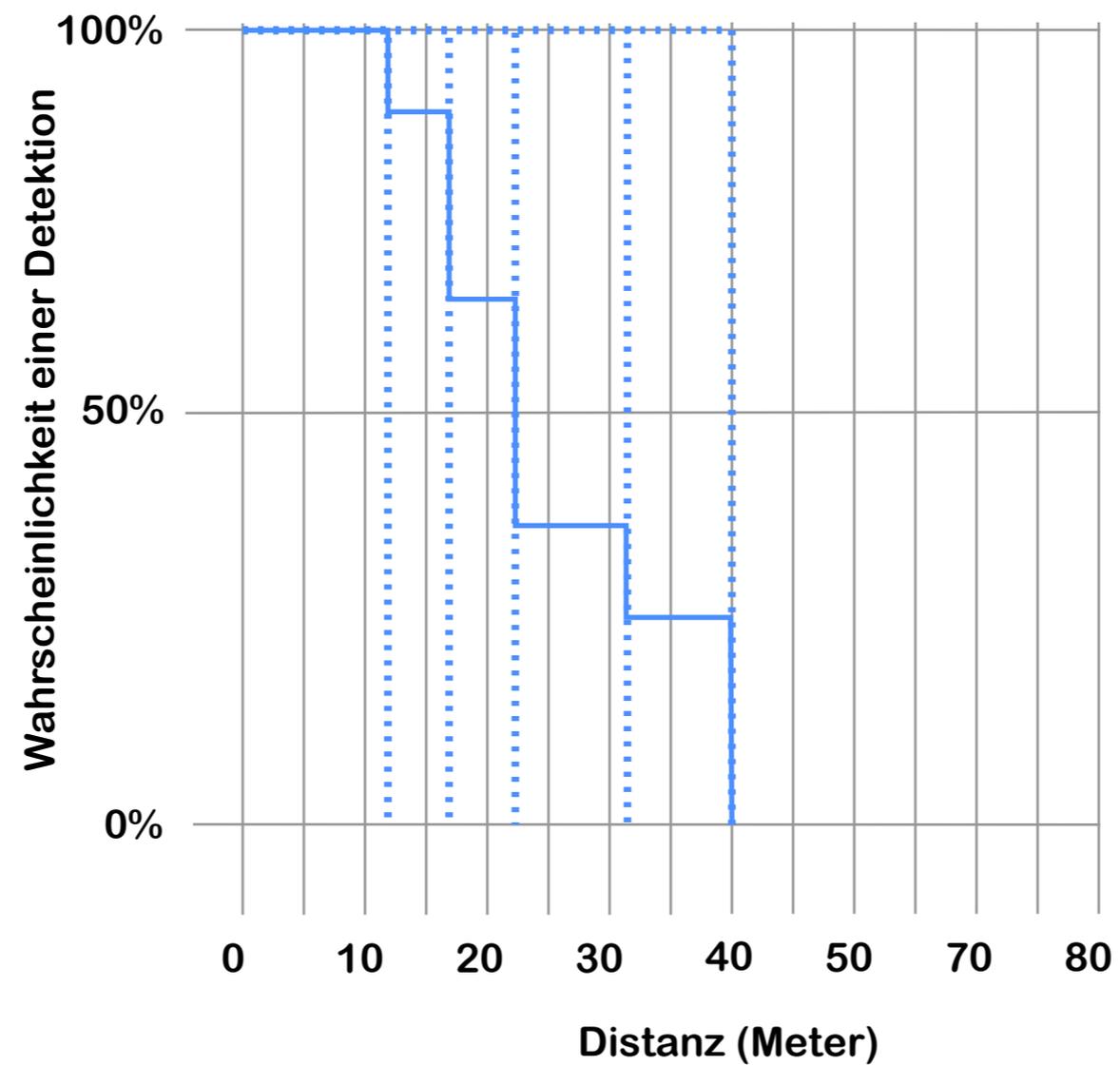
## SCHALLDRUCKPEGEL DER RUFEN

- ▶ 90 dB SPL bis 130 dB SPL
  - ▶ Fledermaus kann die Lautstärke um den Faktor 10 beeinflussen



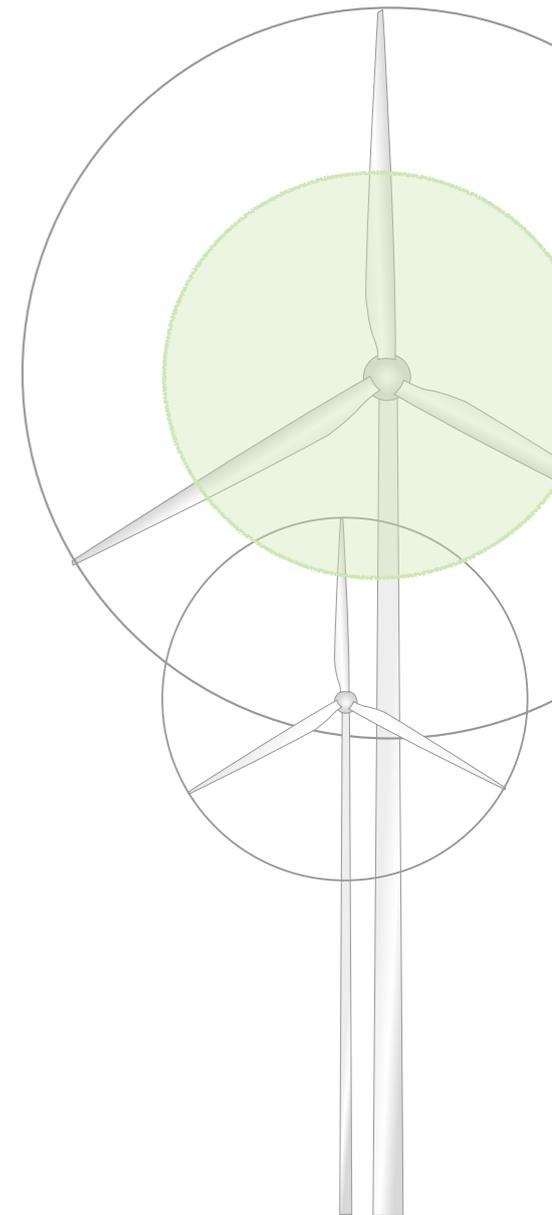
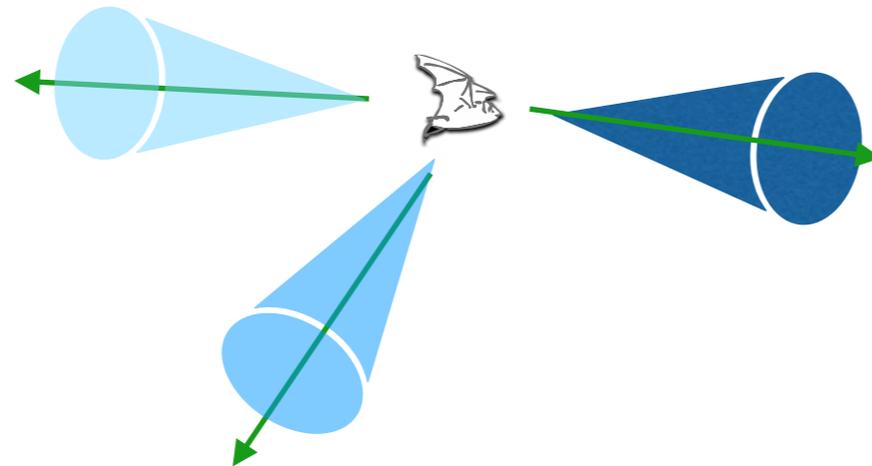
# SCHALLDRUCKPEGEL DER RUF

## Ruf-Reichweite



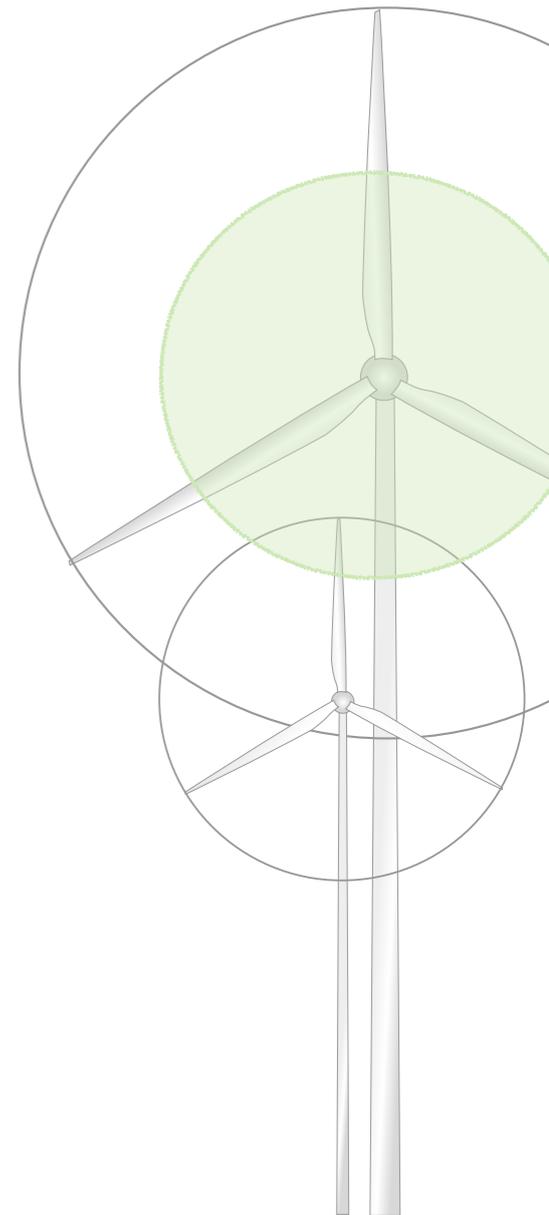
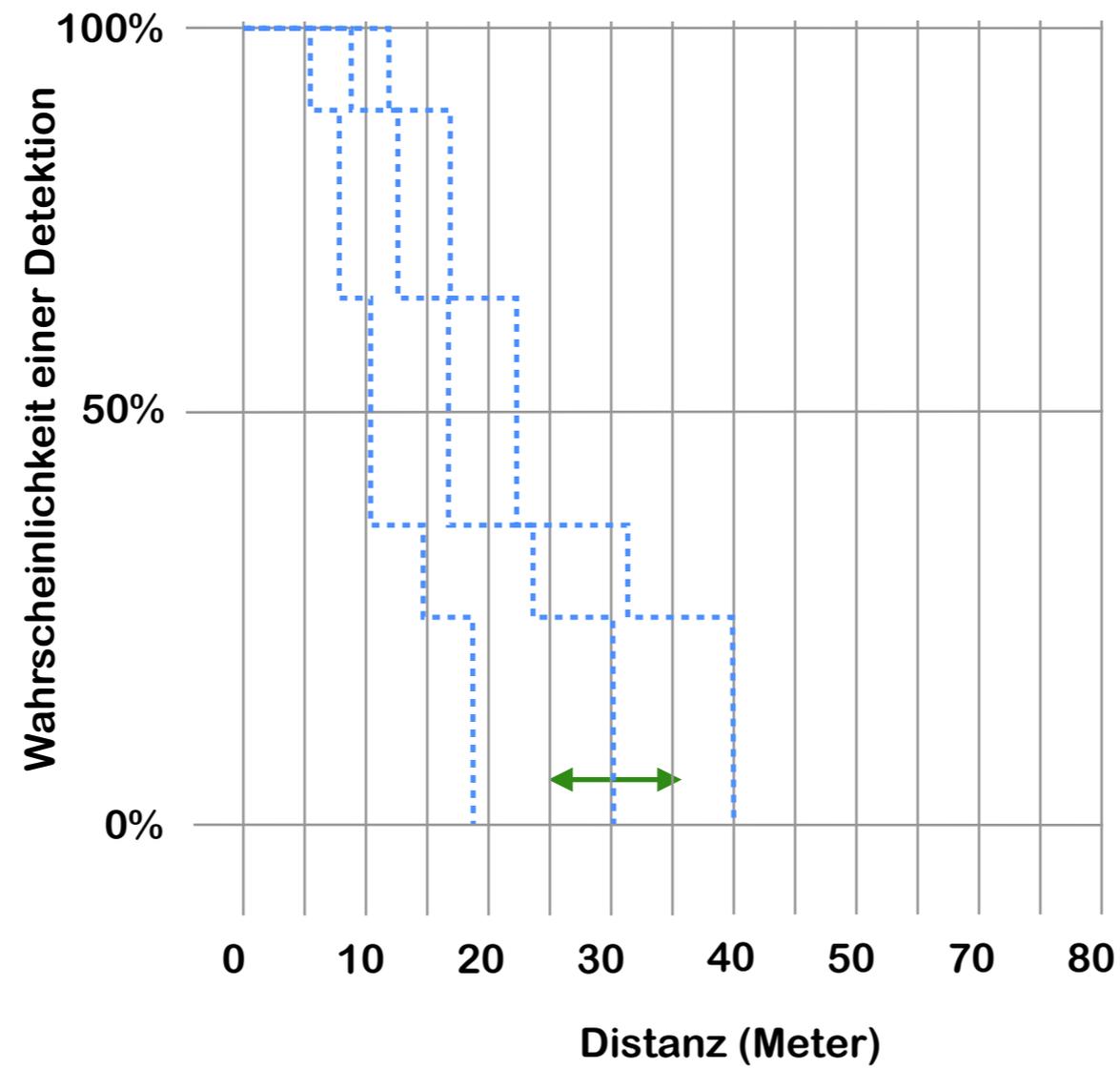
# RUFRICTIONG

- ▶ Flugrichtung nicht festgelegt



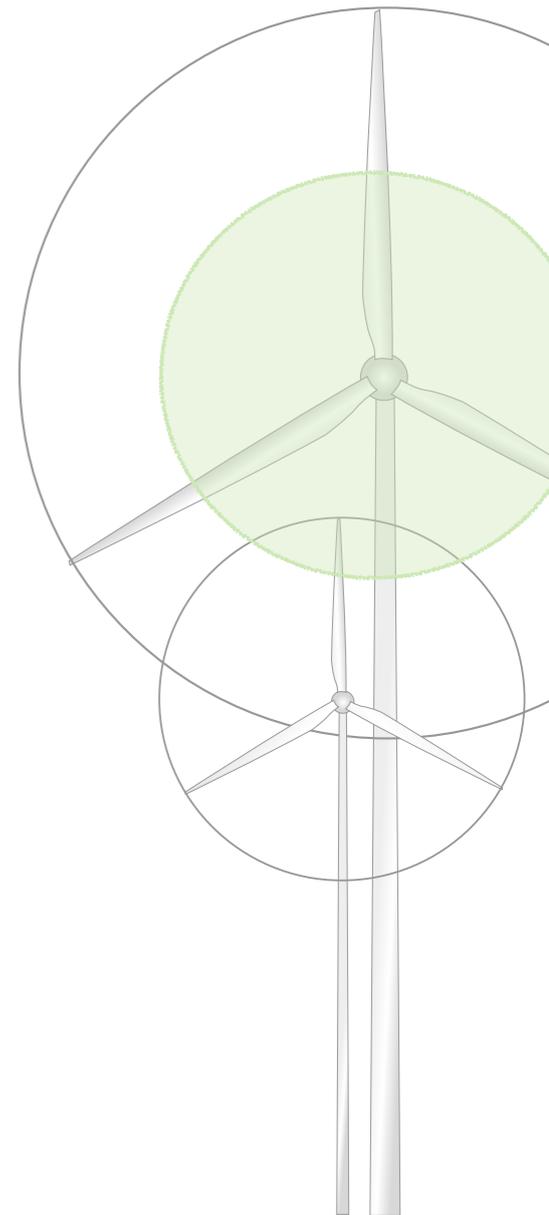
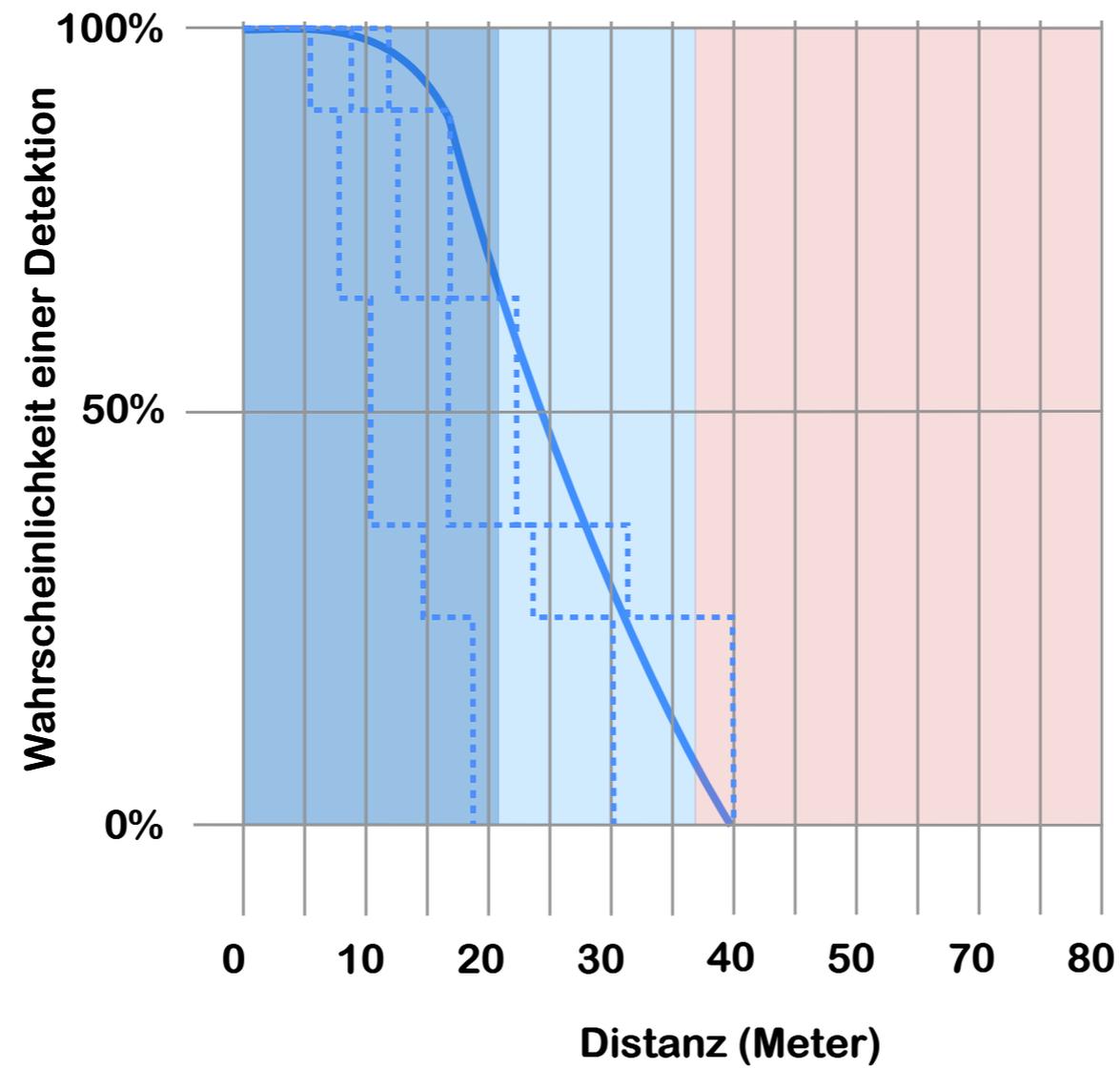
# RUFRICHTUNG

## Ruf-Reichweite



# RUFRICHTUNG

## Ruf-Reichweite



DETEKTOR

---

**WAS KÖNNEN WIR HÖREN?**

## DETEKTIONSREICHWEITE

- ▶ abhängig von
  - ▶ Schallphysik
  - ▶ „Ruflautstärke“
  - ▶ Ruf-Richtung
- ▶ Detektor-Empfindlichkeit
- ▶ Umgebungsgeräuschen
- ▶ Detektor-Einbau



KEINE EINFLUßNAHME  
MÖGLICH

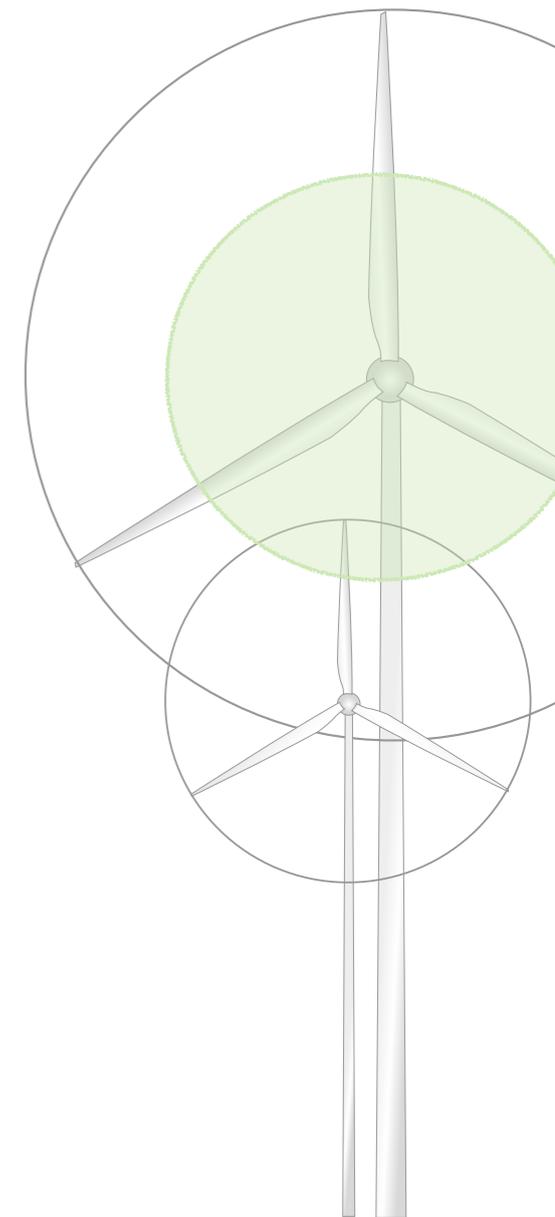
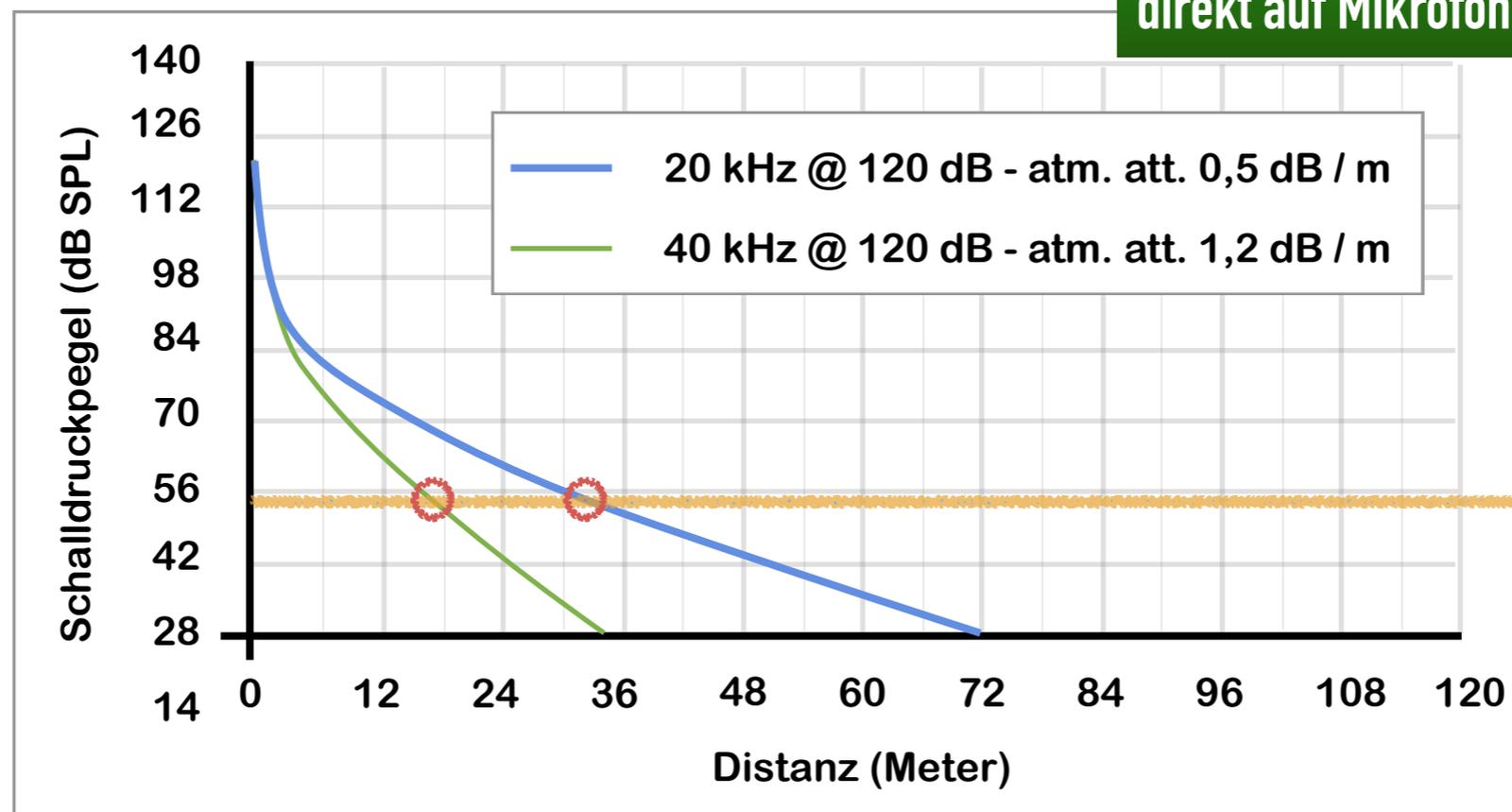


EINFLUßNAHME MÖGLICH  
- BEDINGT

# AUFNAHMESCHWELLE DES DETEKTOR

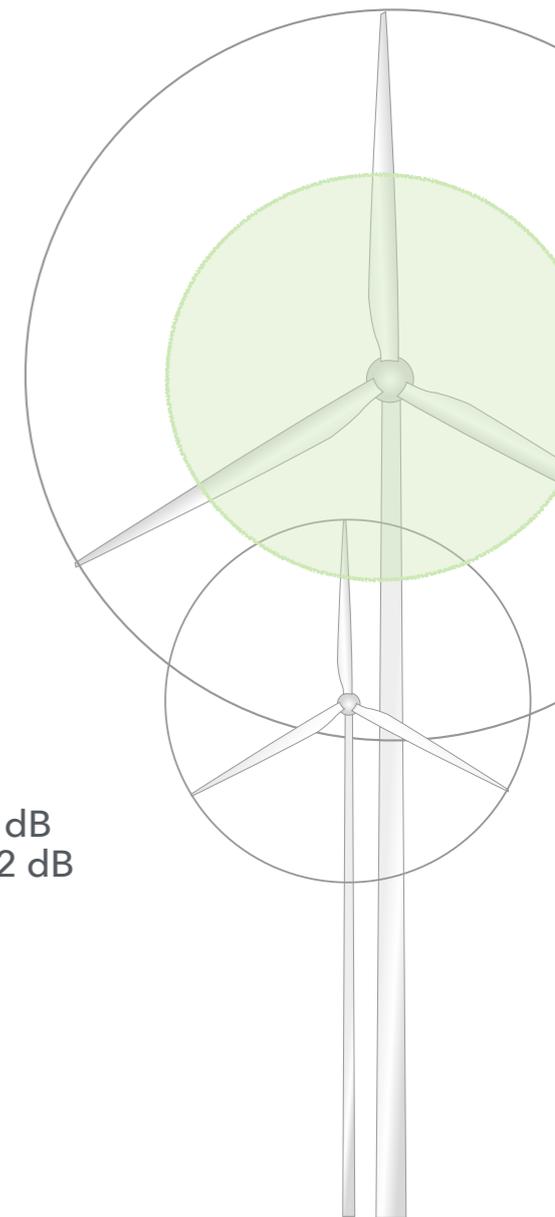
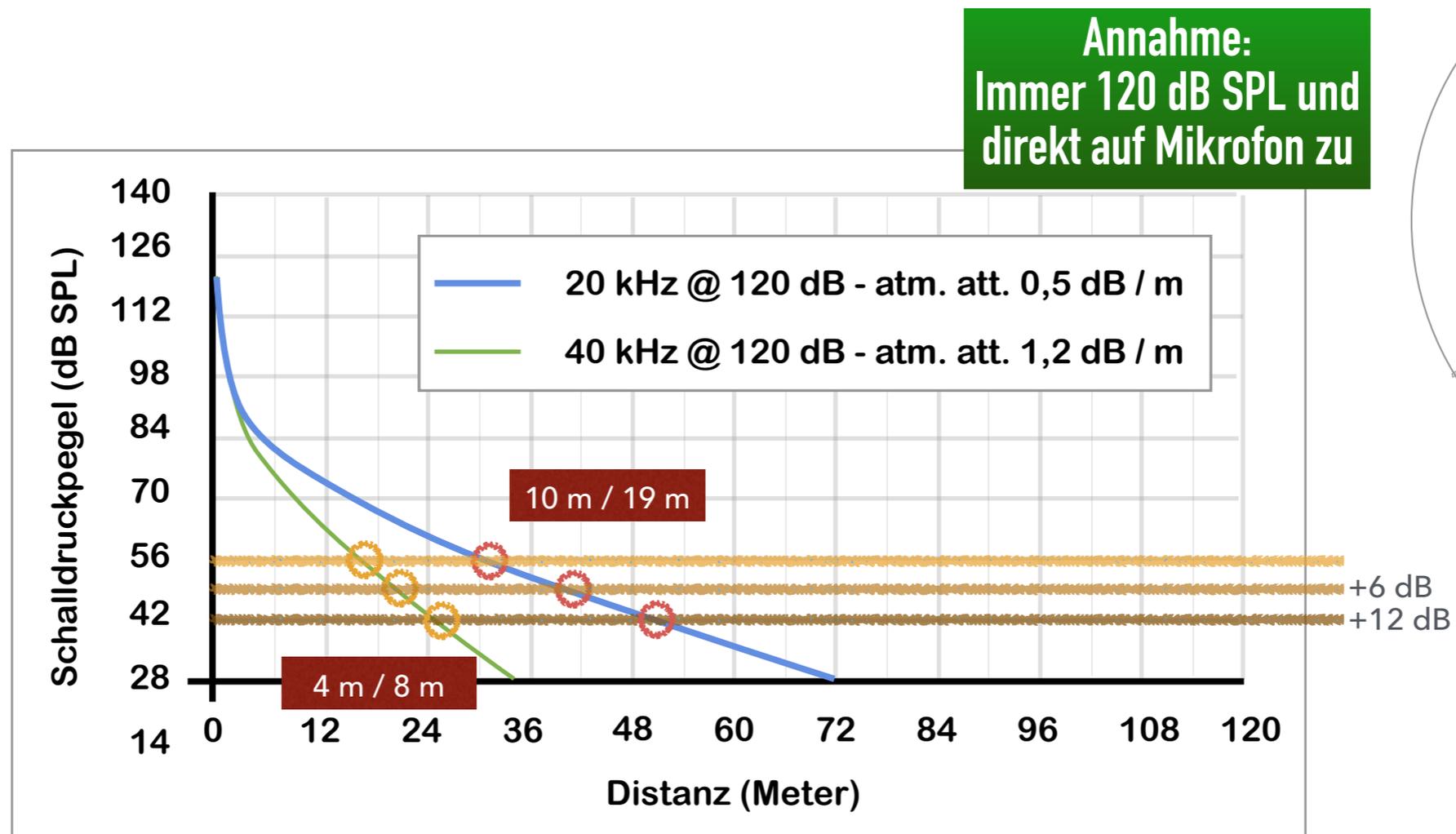
- ▶ abhängig vom Gerät
  - ▶ nur möglich bei regelmässiger Kalibrierung
  - ▶ nur möglich bei fester Auslöseschwelle
  - ▶ spezifisch je Frequenz

**Annahme:  
Immer 120 dB SPL und  
direkt auf Mikrofon zu**



# VERDOPPELUNG DER DETEKTOREMPFINDLICHKEIT

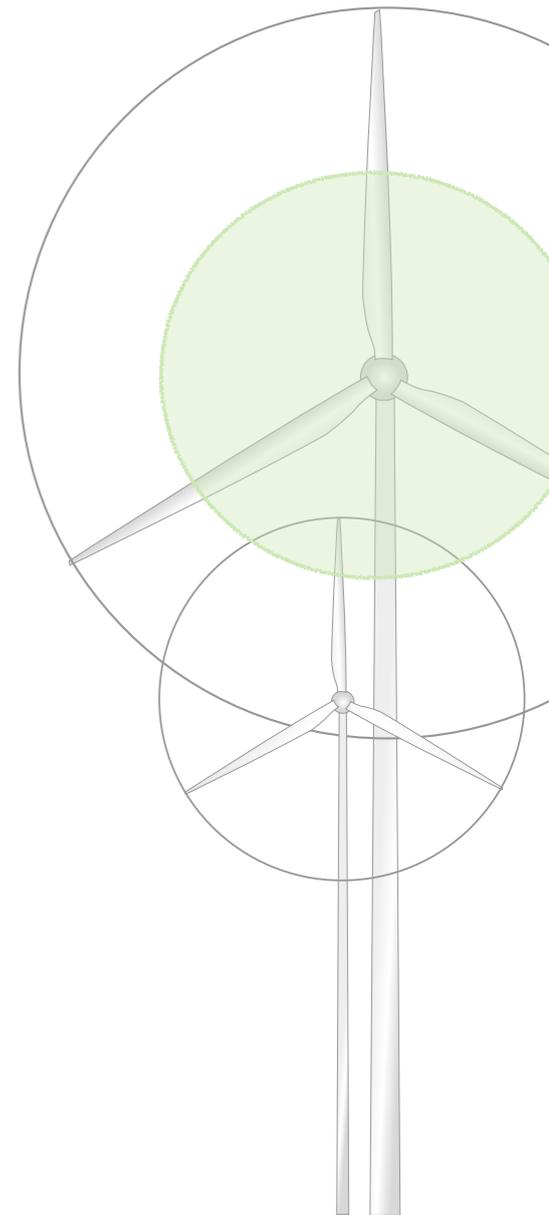
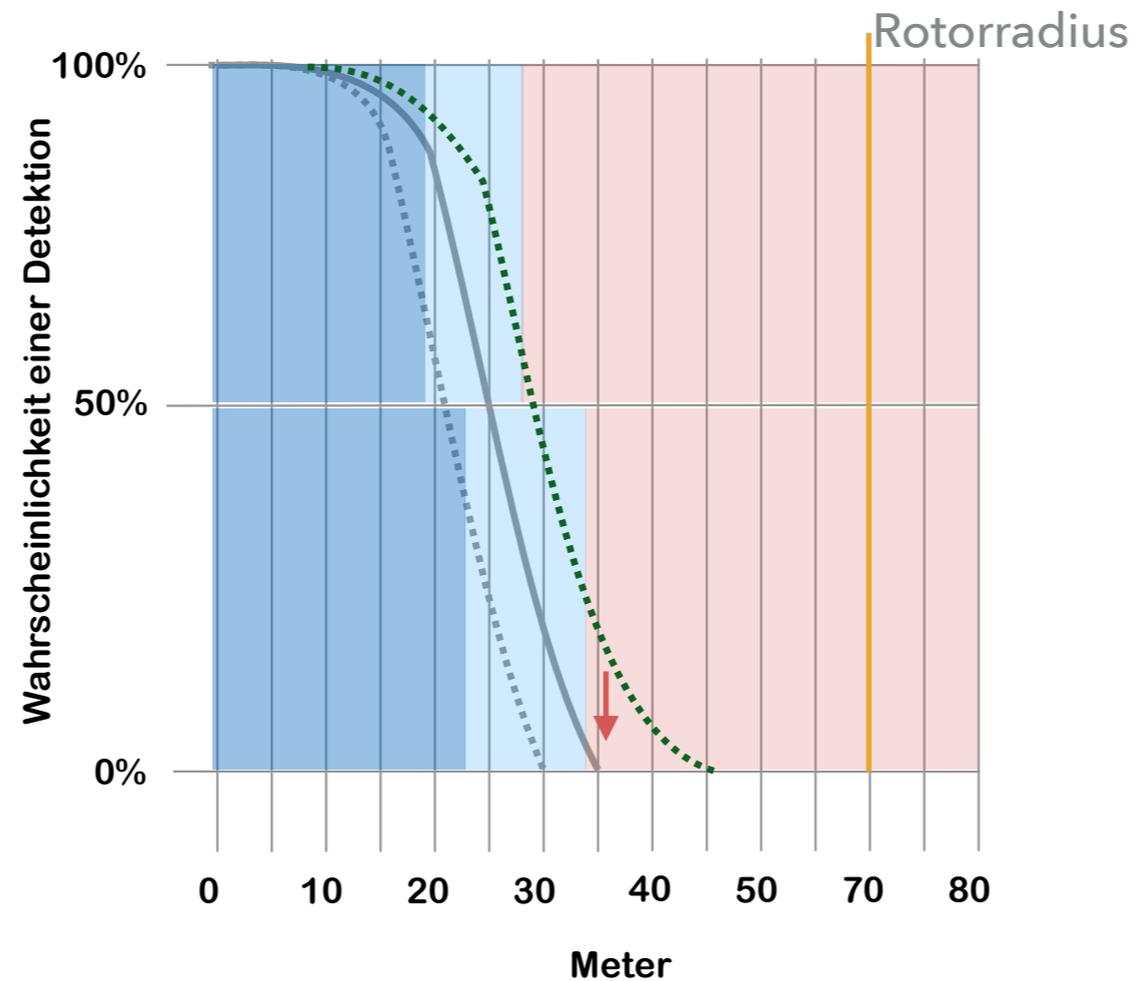
- ▶ größere Reichweite
  - ▶ aber: bei weitem keine Verdoppelung!



## VERDOPPELUNG DER DETEKTOREMPFINDLICHKEIT

- ▶ Detektionswahrscheinlichkeit
  - ▶ vereinfachtes Beispiel

### Detektor-Verstärkung verdoppeln



## BETRIEBSGERÄUSCHE

- ▶ Betriebsgeräusche können leise Rufe maskieren
  - ▶ während des Betriebs ist es nicht still
  - ▶ erhöhtes Grundrauschen oder andere Geräusche

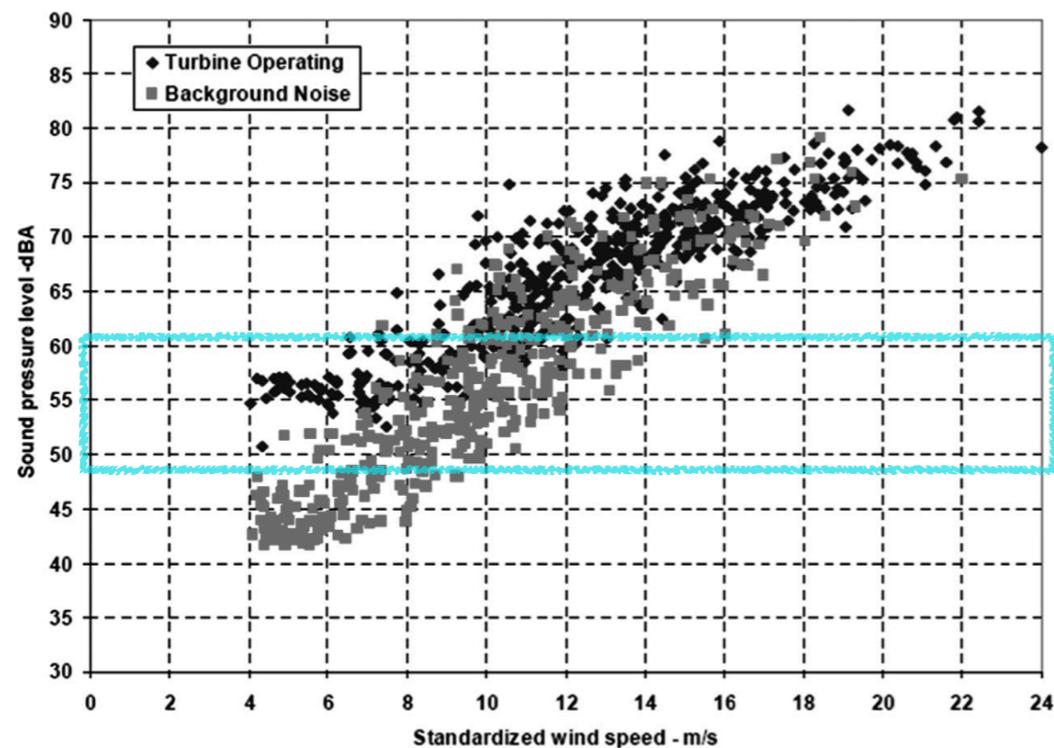
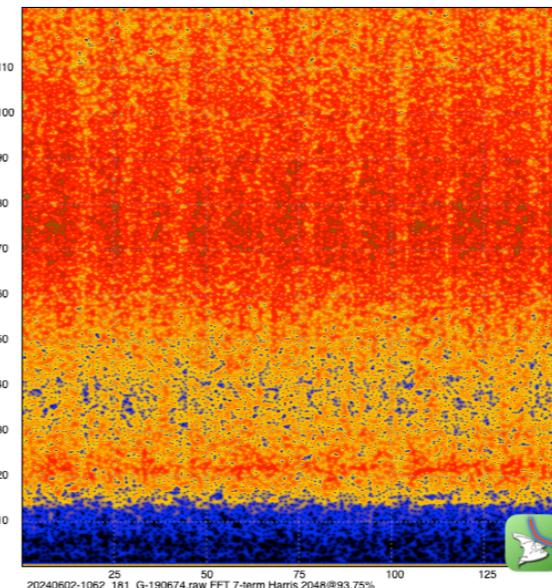


Figure 11: Background and operation noise measurements for a small wind turbine [17].



aus:

CHAPTER 20

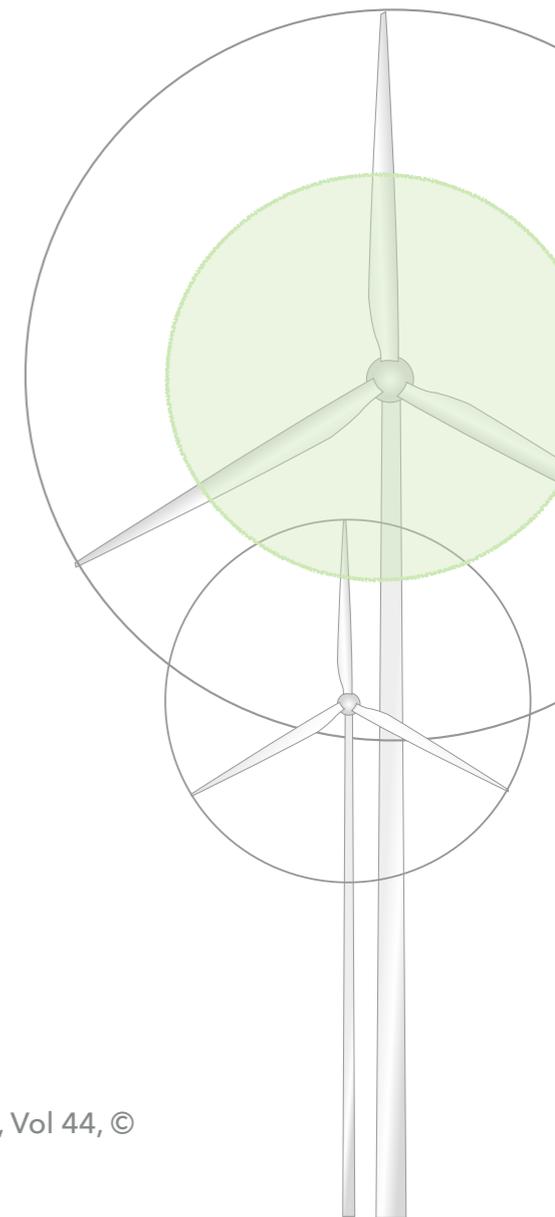
Wind turbine noise measurements and abatement methods

Panagiota Pantazopoulou

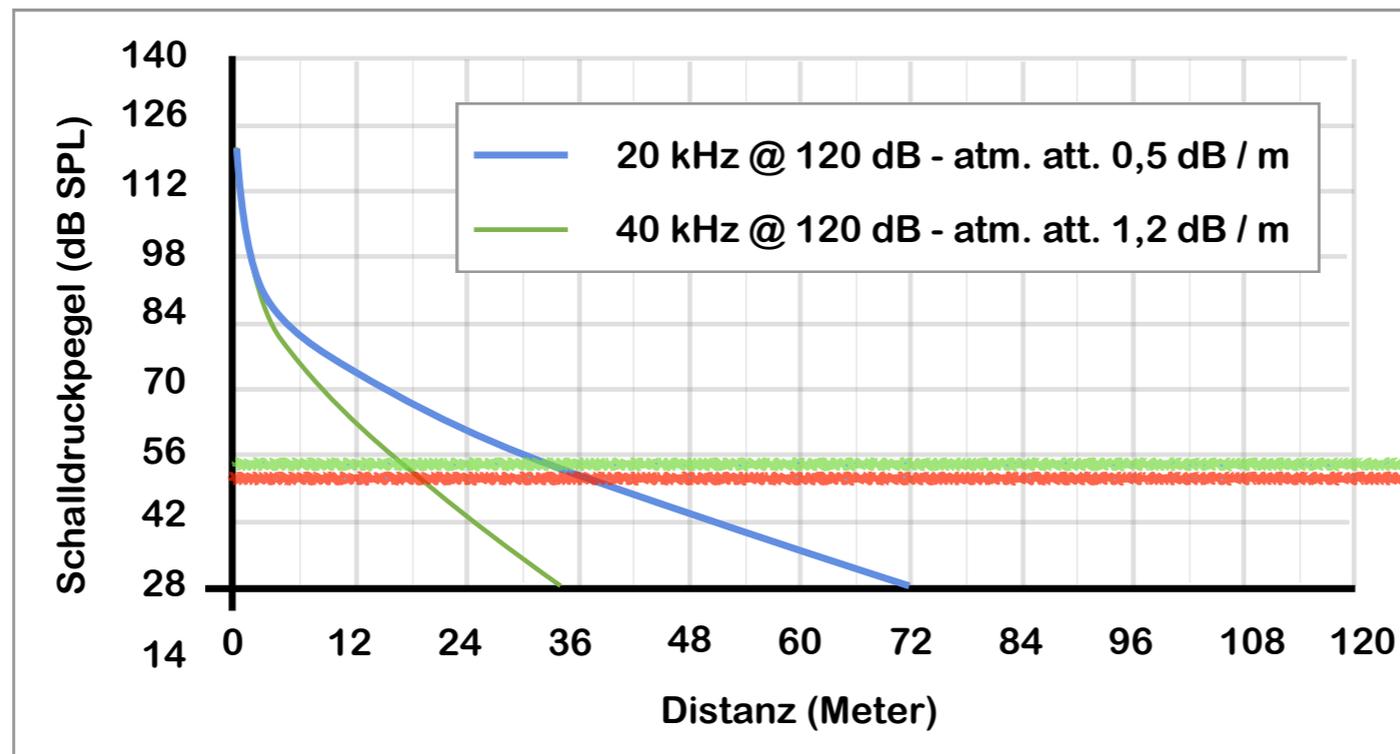
BRE, Watford, UK in

WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 44, ©

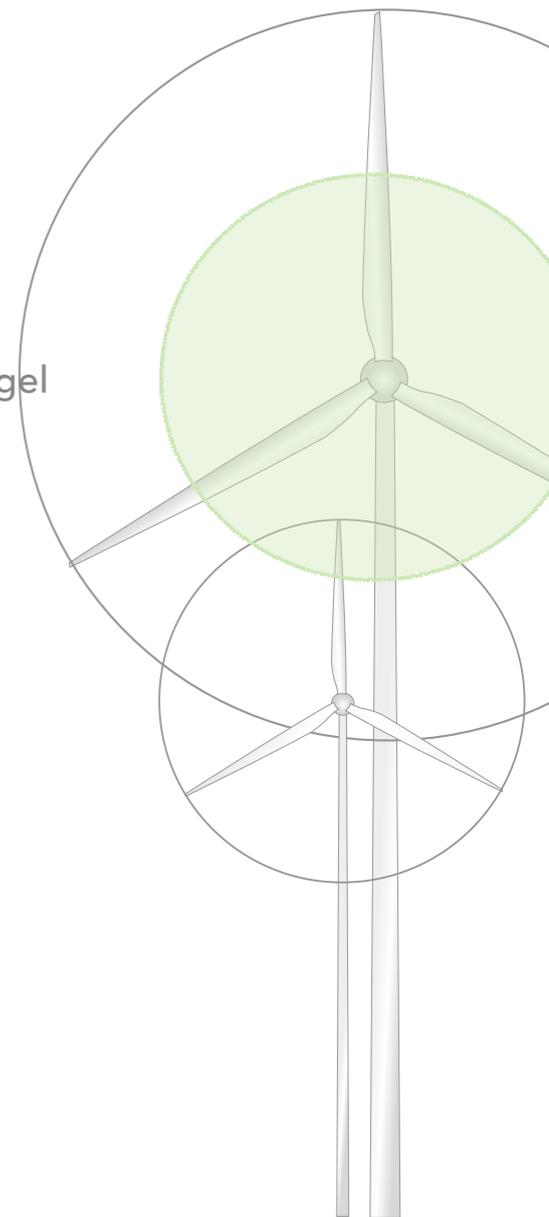
2010 WIT Press www.witpress.com, ISSN 1755-8336 (on-line)



# PEGEL DER BETRIEBSGERÄUSCHE



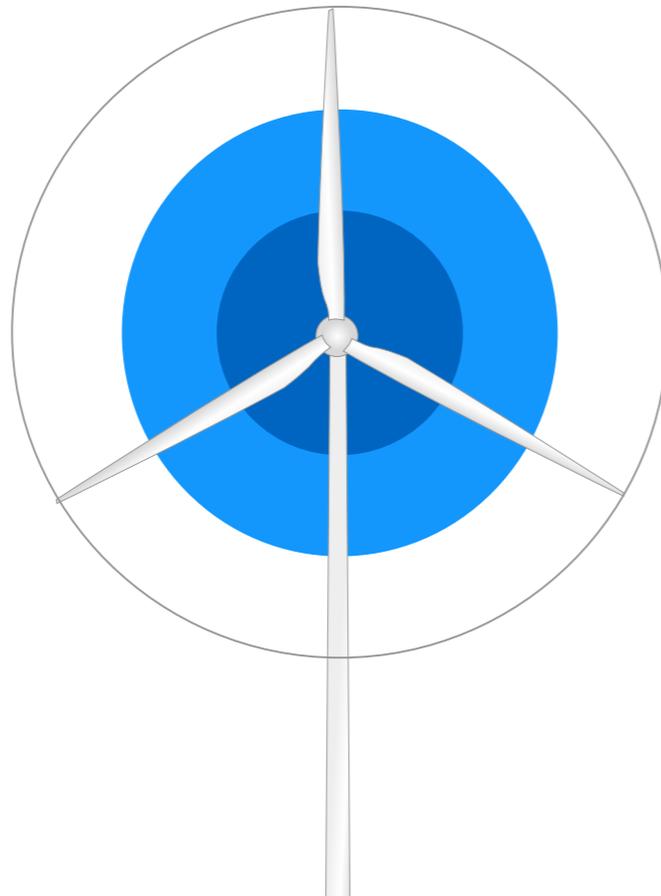
Geräuschpegel



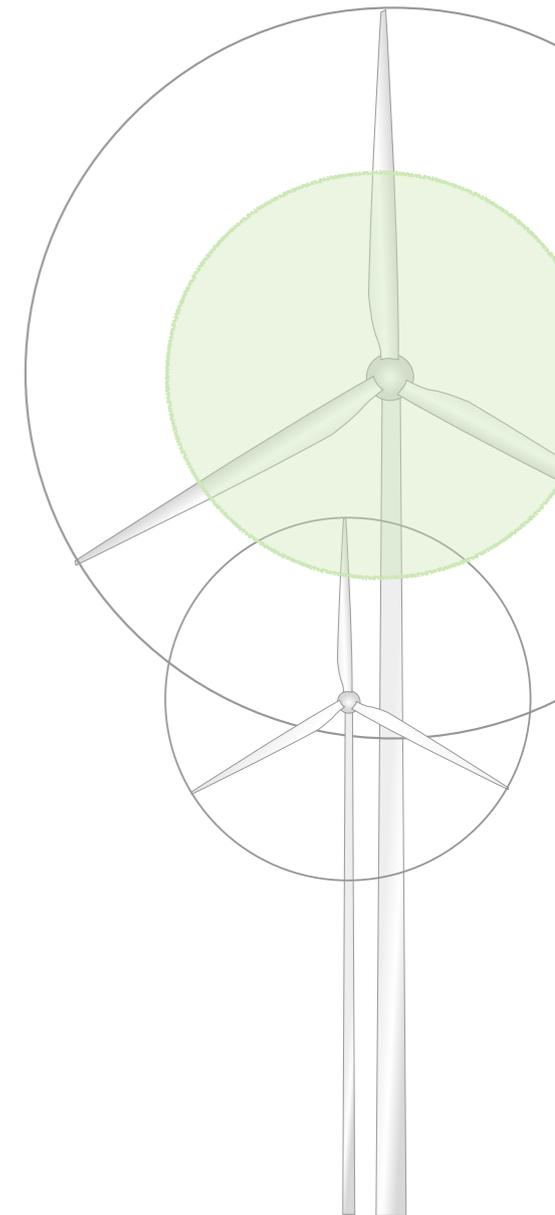
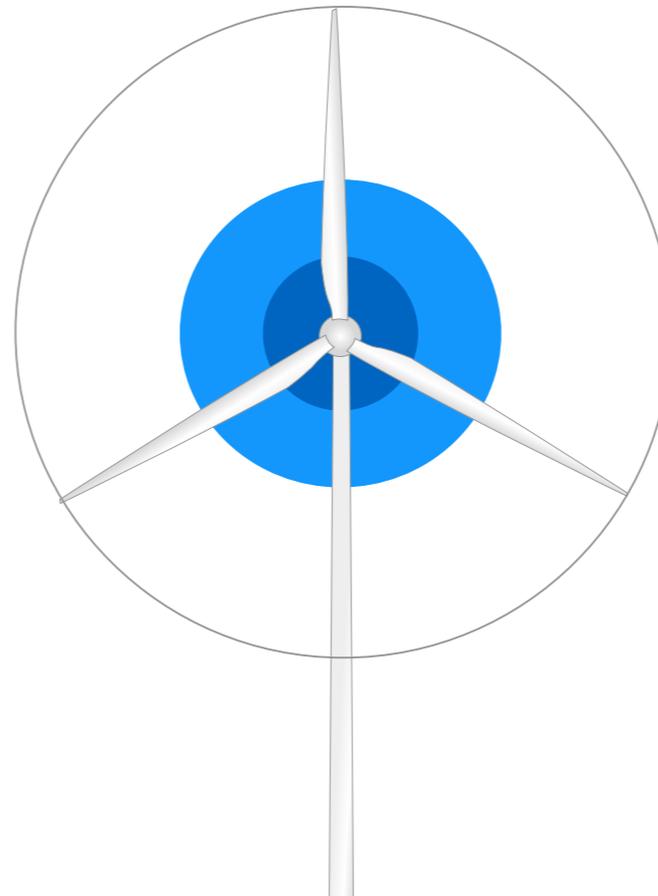
## AUFNAHMEREICHWEITE

- ▶ Wahrscheinlichkeit einer Aufnahme in Abhängigkeit von
  - ▶ Entfernung der Fledermaus
  - ▶ Fledermausart (Frequenz)

Abendsegler

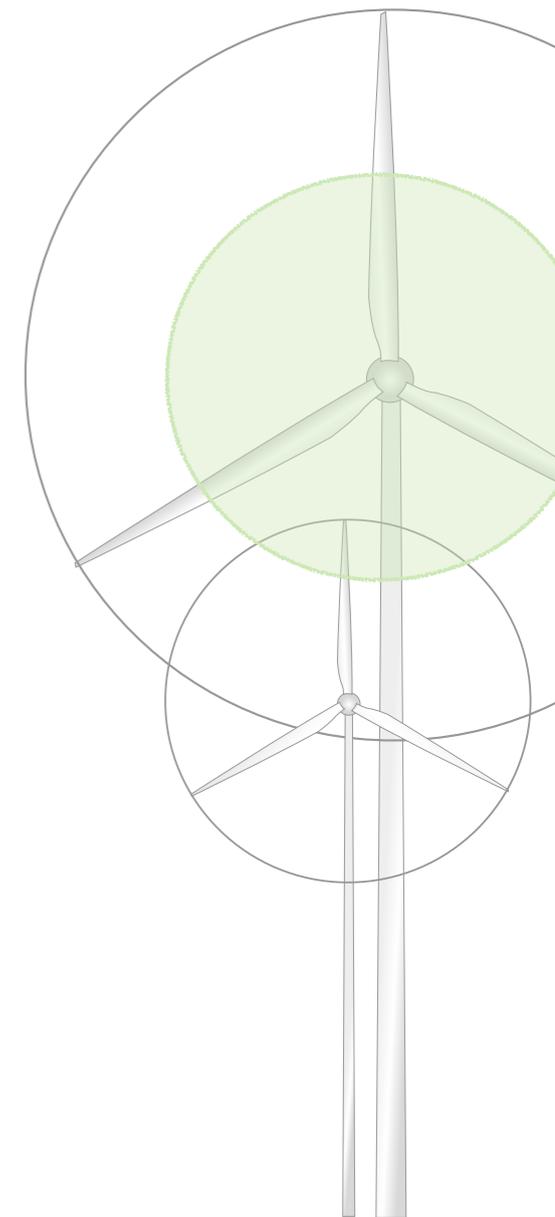
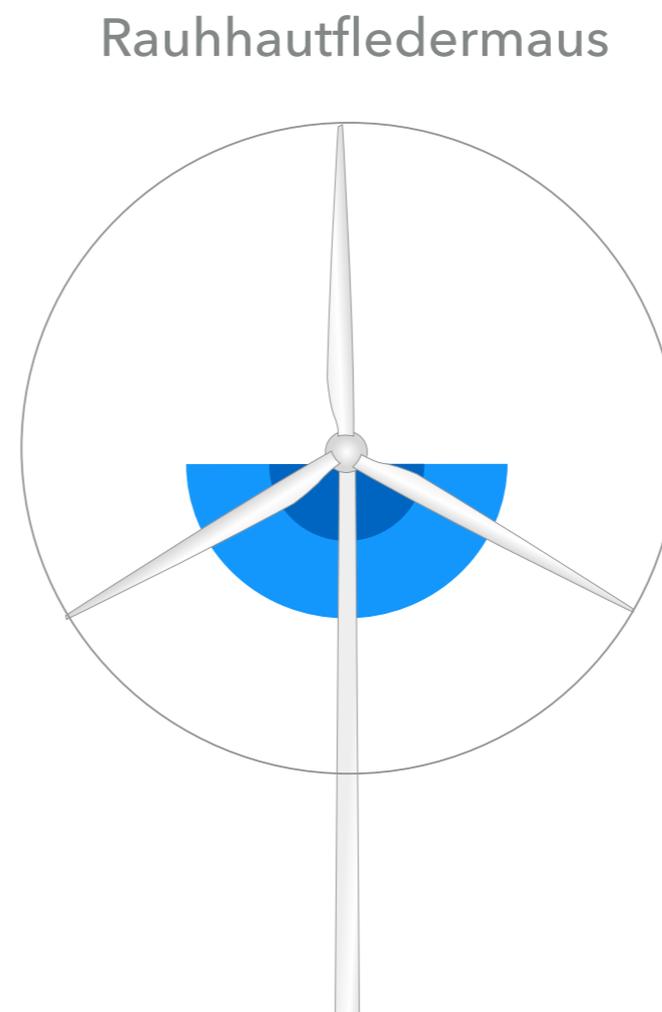
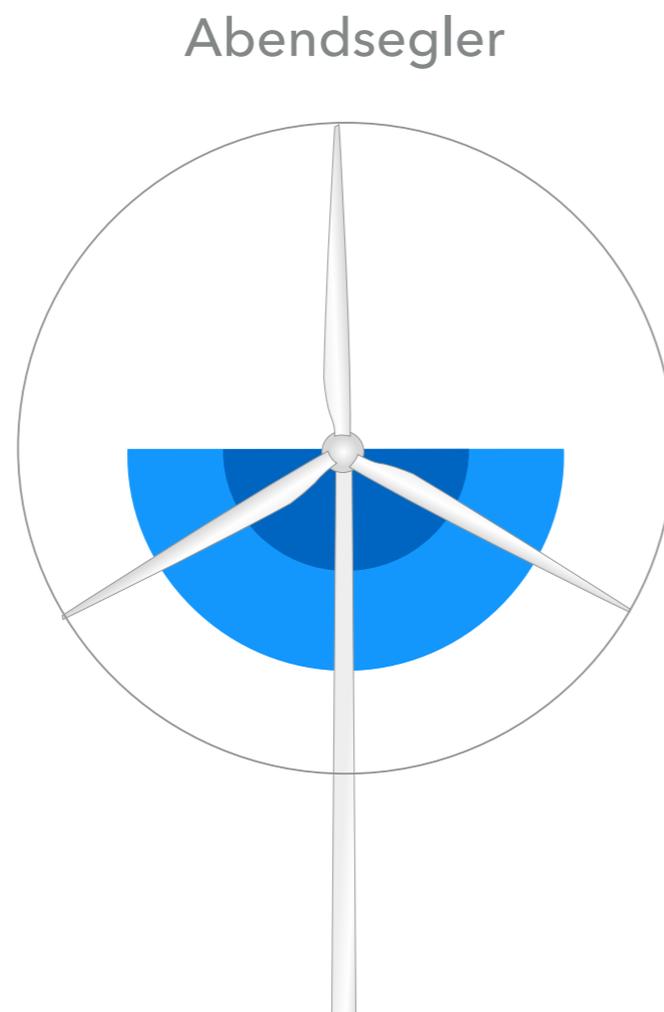


Rauhhaufledermaus



## AUFNAHMEREICHWEITE

- ▶ Wahrscheinlichkeit einer Aufnahme in Abhängigkeit von
  - ▶ Entfernung der Fledermaus
  - ▶ Fledermausart (Frequenz)
  - ▶ Einbau





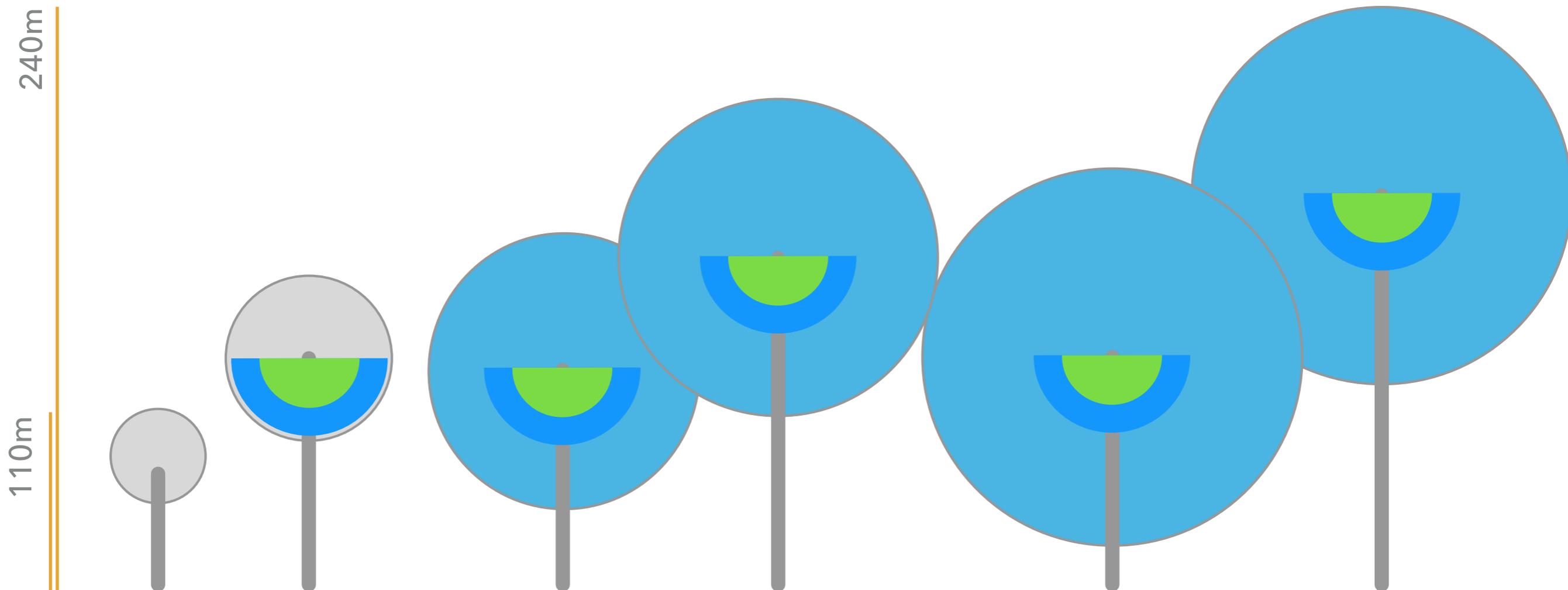
RAUMVOLUMEN

---

ENTWICKLUNG VON WEA

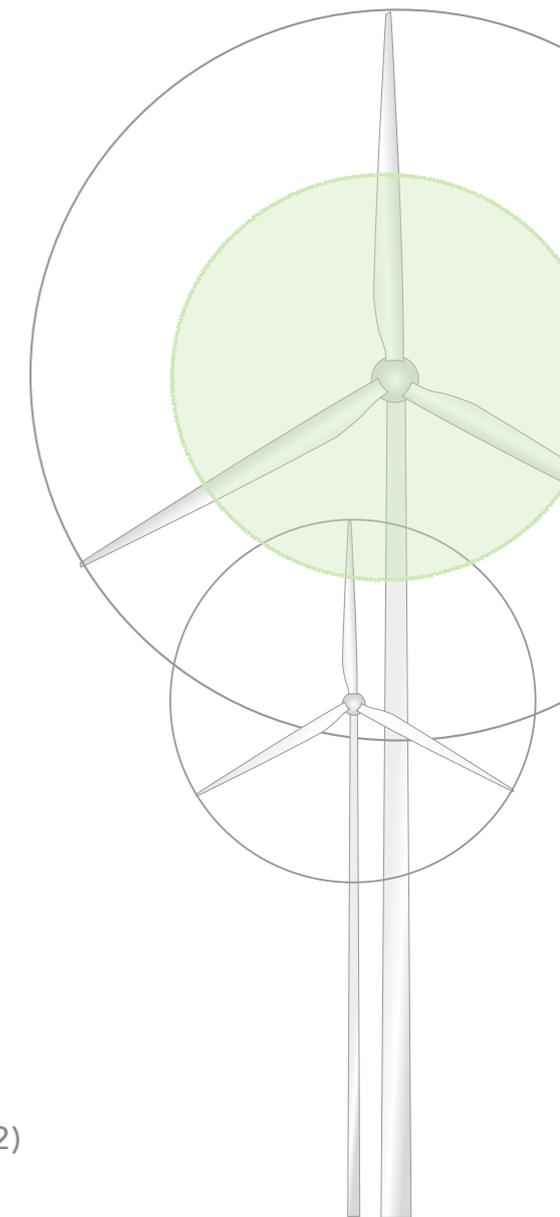
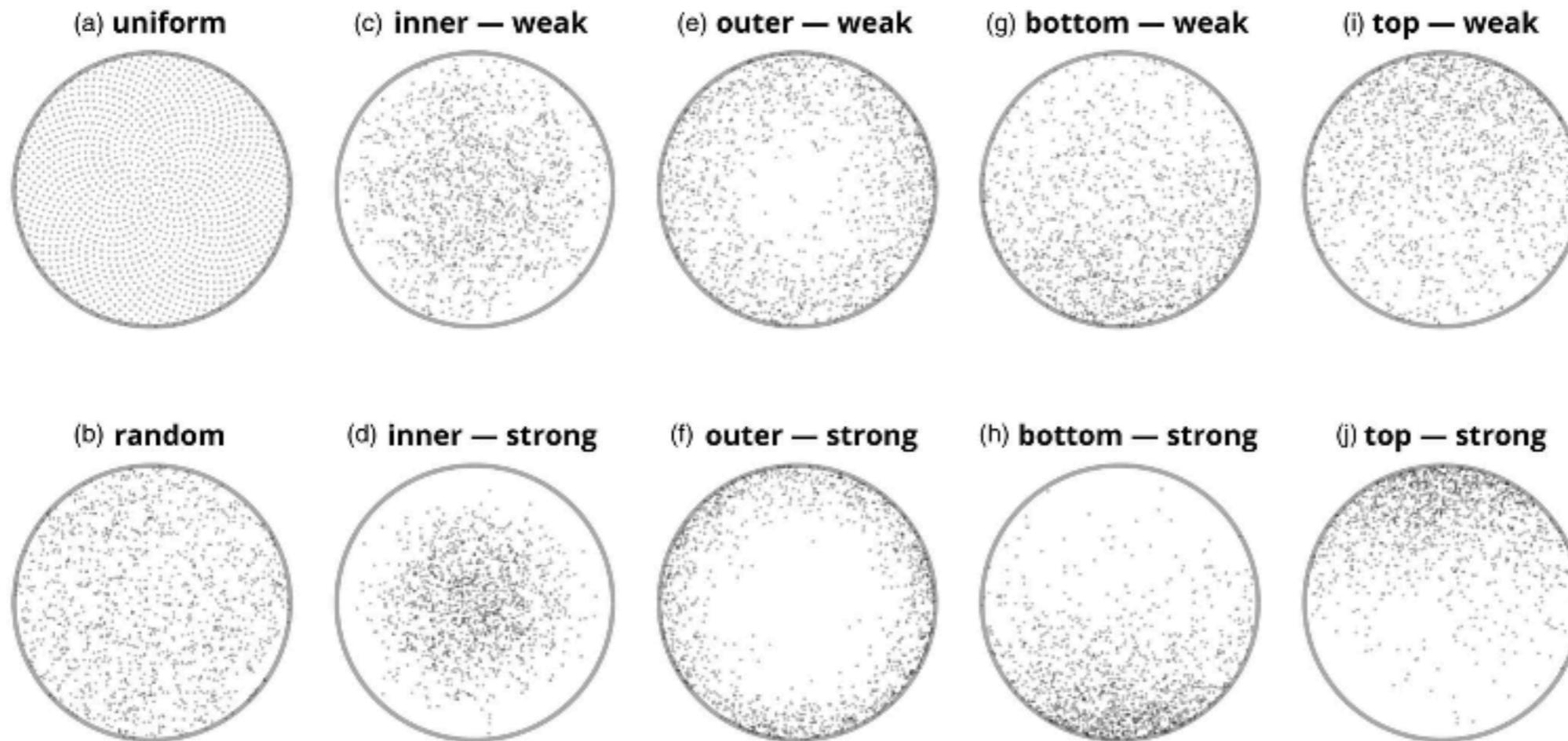
## EVOLUTION VON WEA (ON-SHORE)

- ▶ innerhalb von ca. 20 Jahren deutliches Wachstum
  - ▶ von 80 m zu 170 m Durchmesser
  - ▶ von 70 m zu 160 m Nabenhöhe



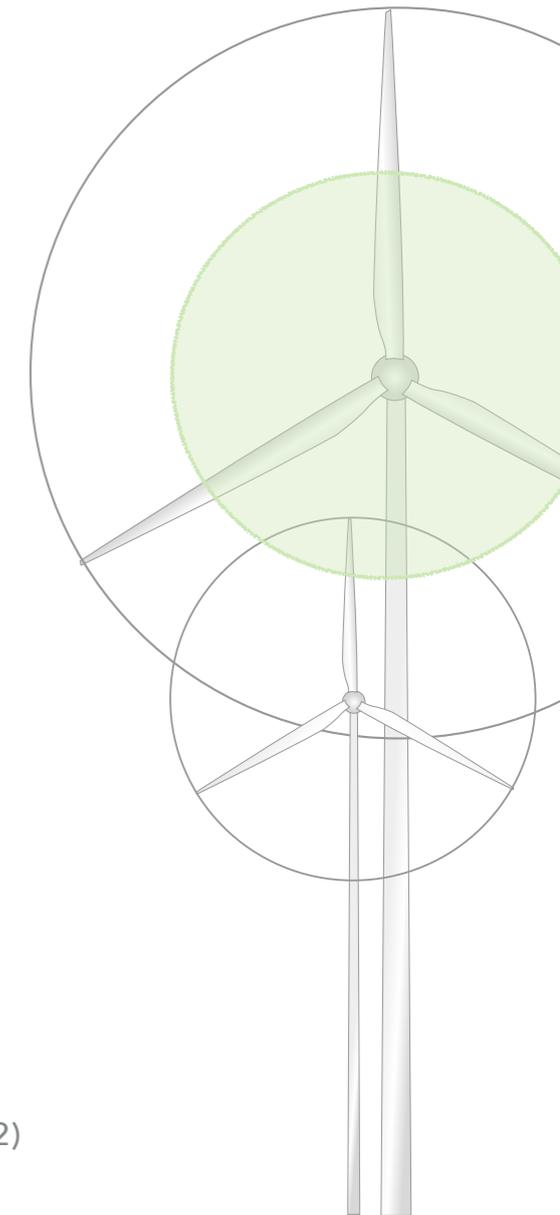
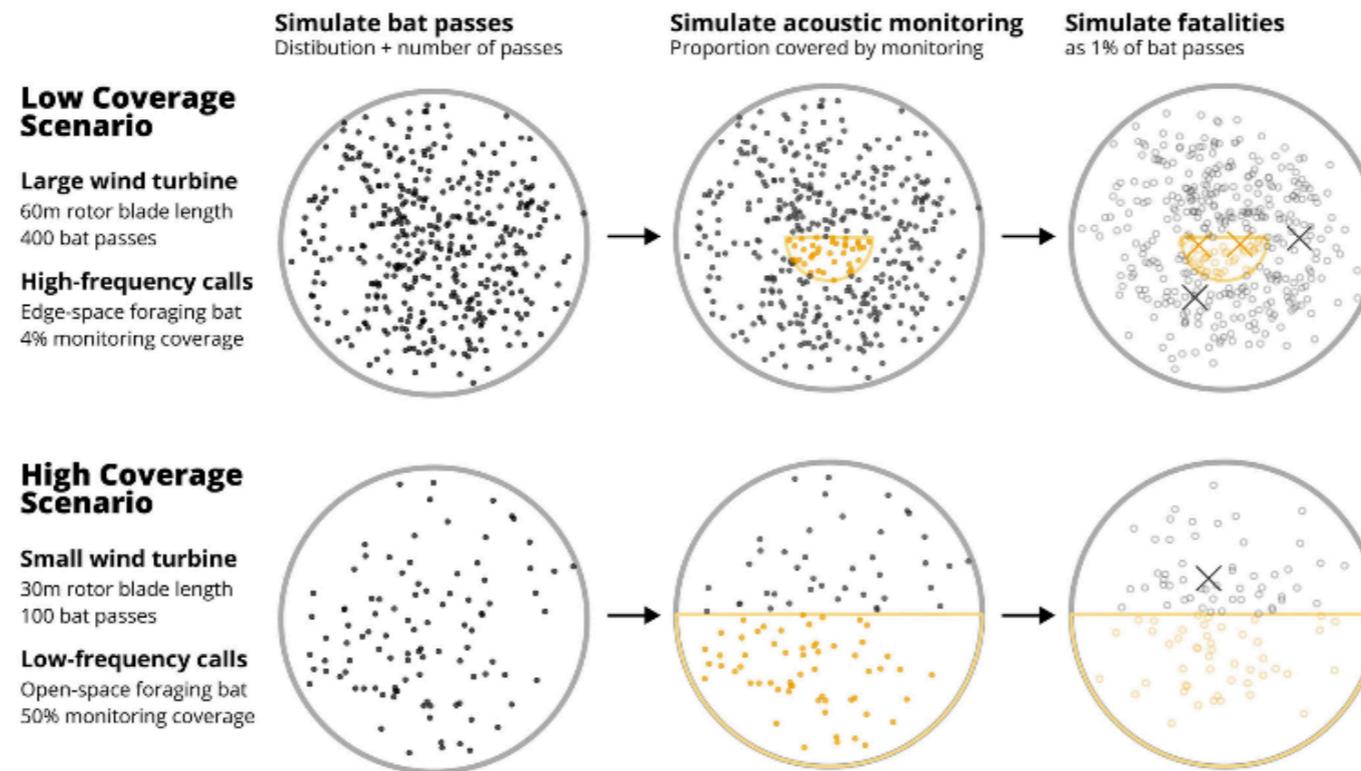
# VERTEILUNG DER FLEDERMÄUSE UMS MIKROFON

► Wie verteilen sich die Fledermäuse?



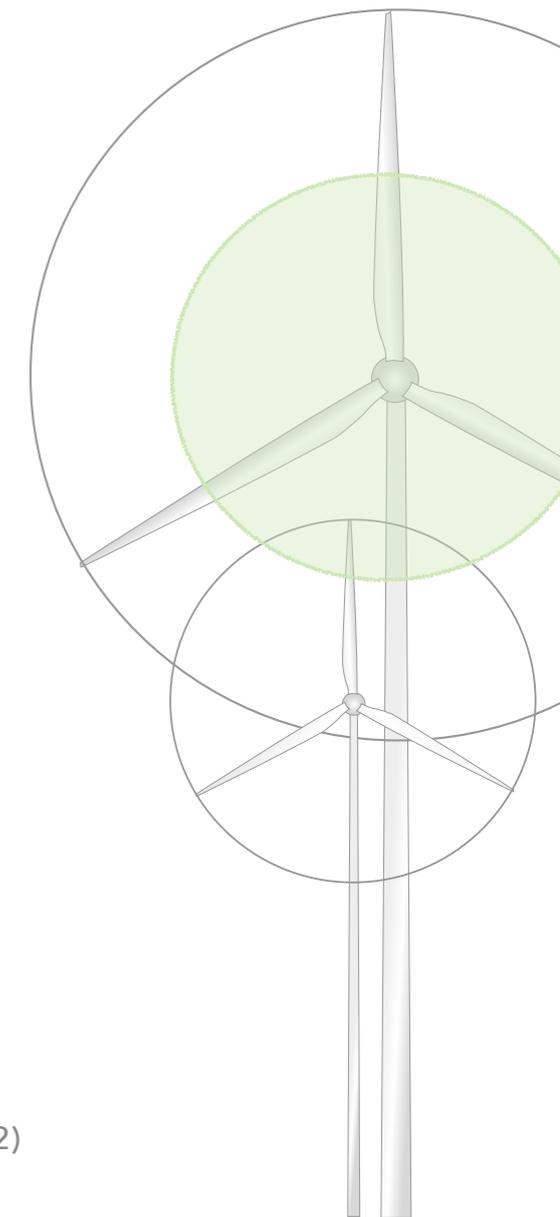
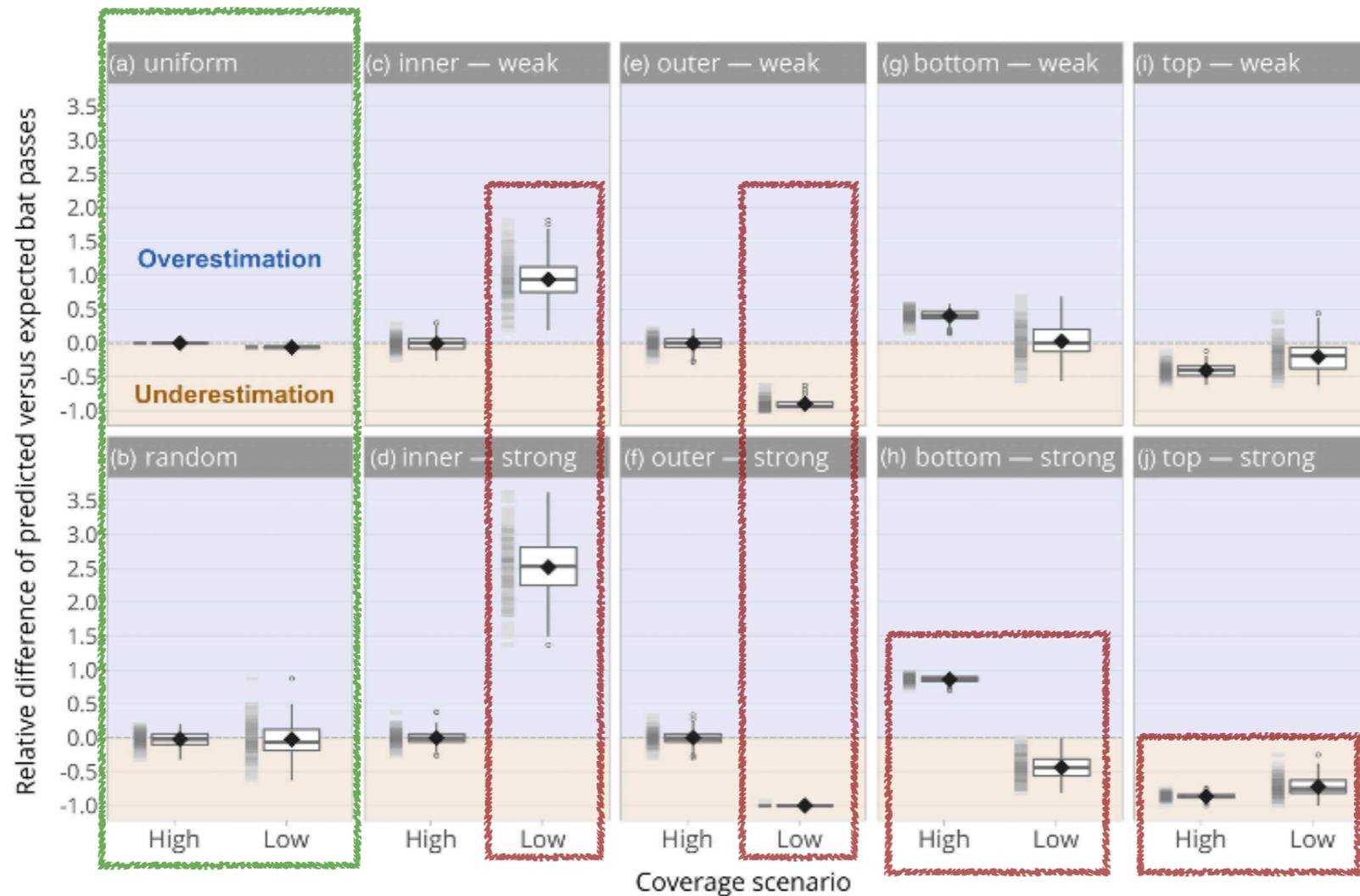
# VERTEILUNG DER FLEDERMÄUSE UMS MIKROFON

## ► Wie verteilen sich die Fledermäuse?



# VERTEILUNG DER FLEDERMÄUSE UMS MIKROFON

► Wie verteilen sich die Fledermäuse?



A landscape photograph showing a field of wind turbines silhouetted against a sunset sky. The sky transitions from a deep orange near the horizon to a pale blue at the top. The turbines are scattered across the horizon, with some in the foreground and others receding into the distance. The overall mood is serene and contemplative.

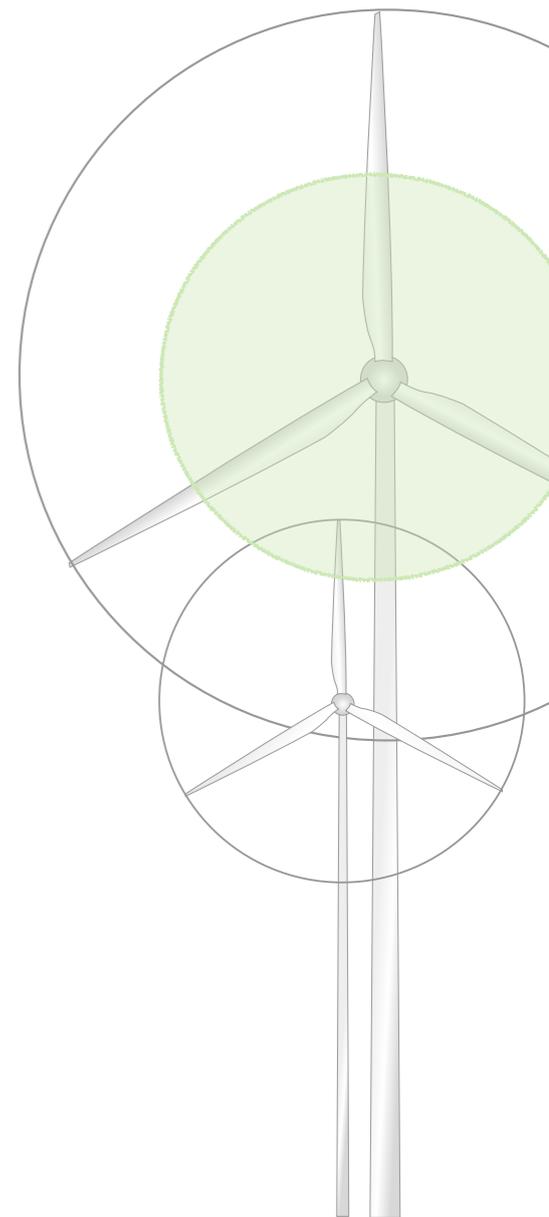
ODER REICHT ES NICHT?

---

**HÖREN WIR, WAS WIR  
WOLLEN?**

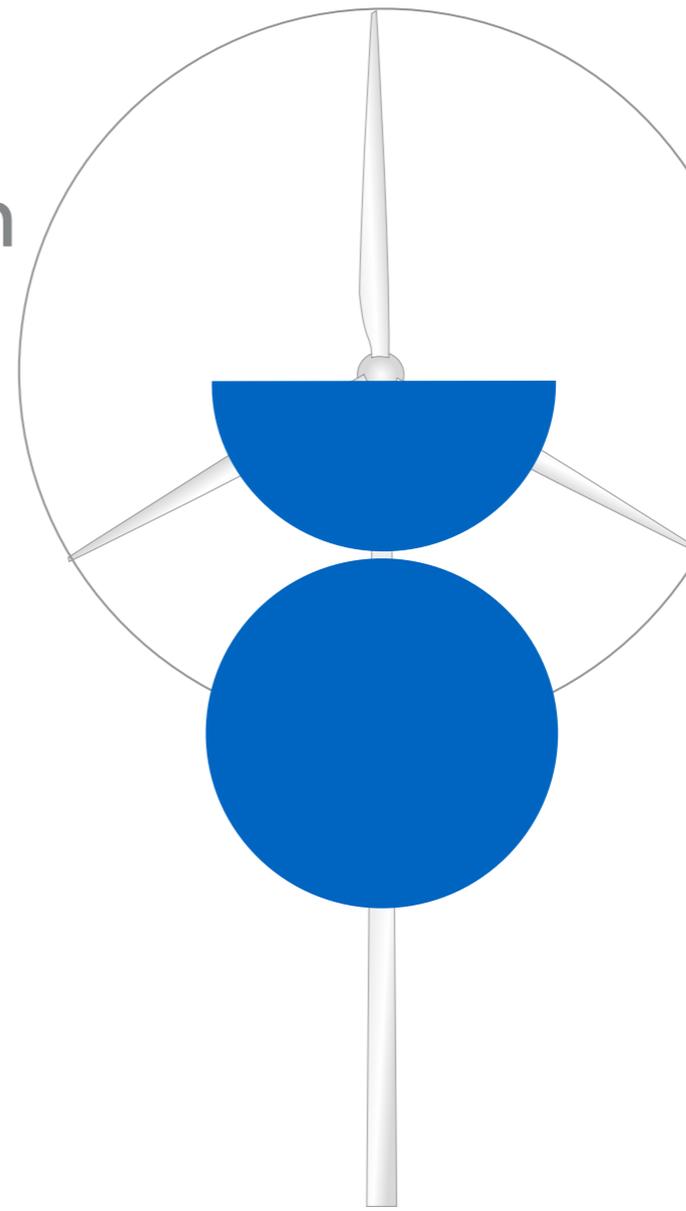
## FUNKTIONIERT AKUSTISCHES MONITORING?

- ▶ Nach aktuellem Wissensstand: ja
- ▶ Aber: Unsicherheiten bestehen
  - ▶ moderne WEA mit deutlich abweichenden
    - ▶ Nabenhöhen
    - ▶ Rotordurchmessern
    - ▶ Abstand zum Boden
  - ▶ Verhalten der Fledermäuse an WEA



## VERBESSERUNGEN

- ▶ Niedrige Detektionsreichweite
  - ▶ höhere Abschaltungen während Monitoring
  - ▶ Anbringen weiterer Mikrofone
- ▶ Erforschung von Raumverhalten
  - ▶ wo halten sich Fledermäuse auf
  - ▶ Standort-Effekte
- ▶ Wie gut ist die Vorhersage
  - ▶ „Schlagopfersuche“
  - ▶ zB „Schlag“ mittels Radar erkennen



DISKUSSION

---

**WEITERE FRAGEN**

**[RUNKEL@VOLKERRUNKEL.DE](mailto:RUNKEL@VOLKERRUNKEL.DE)**

**DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**

**FOLIEN VERFÜGBAR UNTER**

**[VOLKERRUNKEL.DE](http://VOLKERRUNKEL.DE)**

