

Willkommen
Welcome
Bienvenue



Geräuschemissionen von Drohnen

Infoveranstaltung: Lärmauswirkungen des Einsatzes von Drohnen auf die Umwelt
23.9.2021

Kurt Heutschi, Empa, kurt.heutschi@empa.ch

- Schallquellen am Multicopter und Schallabstrahlung
- Literaturrecherche zu
 - Messmethodik zur akustischen Emission von Drohnen
 - Emissionsmessdaten
- Folgerungen

Schallquellen am Multicopter und Schallabstrahlung



Schallquellen am Multicopter

- Elektromotorantrieb (von untergeordneter Bedeutung)
 - Luftströmungen und Strukturschwingungen (-> Abstrahlung) aufgrund periodischer Kräfte
- Propeller (Hauptquelle)
 - periodische lokale Kompression und Expansion der Luft
 - zufällige, turbulente lokale Luftströmungen

Charakteristik des bei U Umdrehungen p. Minute abgestrahlten Signals:

- Elektromotorgeräusch
 - tonale Komponenten bei $f_k = k \cdot U/60$, $k = 1, 2, 3 \dots$
 - breitbandiges Geräusch im mittleren Frequenzbereich
- Propellergeräusch (n Flügel)
 - tonale Komponenten bei $f_k = k \cdot n \cdot U/60$, $k = 1, 2, 3 \dots$
 - breitbandiges Geräusch im mittleren und hohen Frequenzbereich

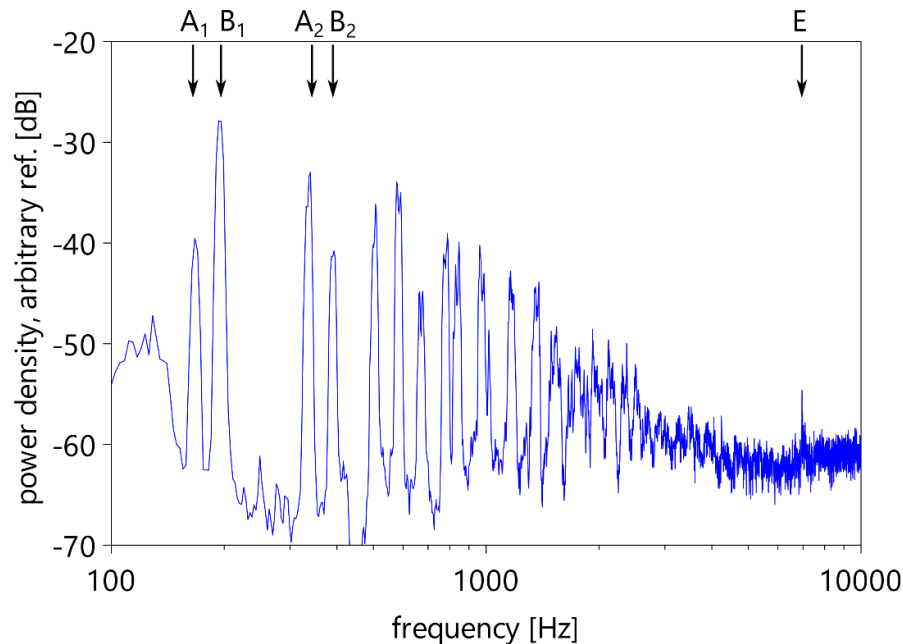
Schallabstrahlung von Multicoptern

Signalmerkmale zweiter Ordnung:

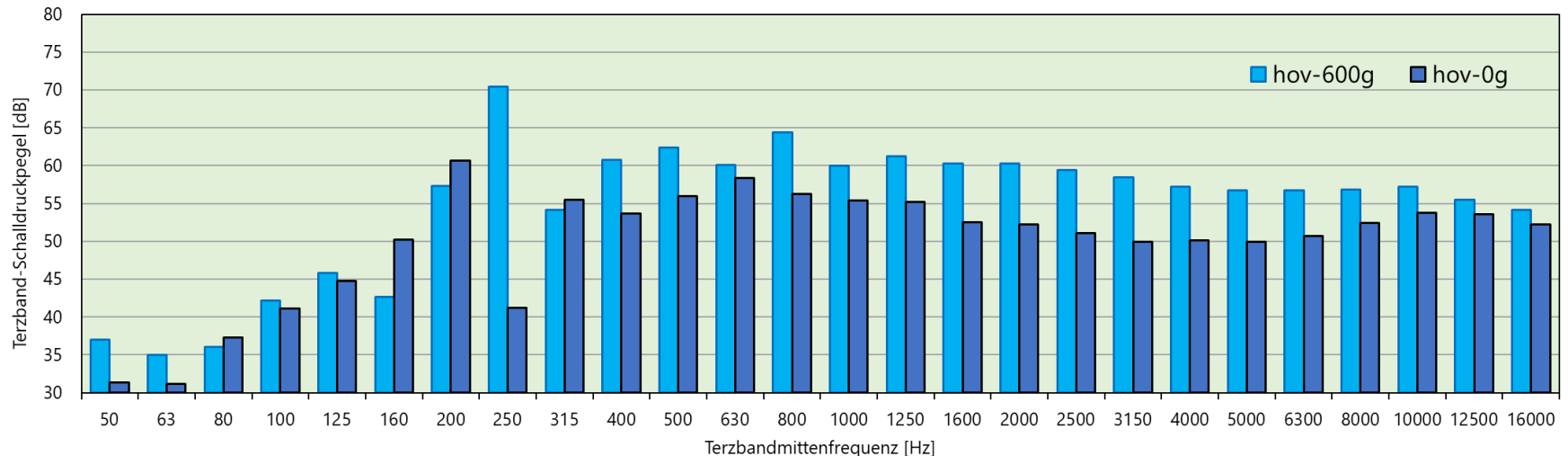
- fortwährend leichte Variation der Drehzahl durch Regelprozesse
 - -> Frequenzverschiebungen der tonalen Komponenten
- Zusammenspiel mehrerer nicht ganz synchroner Rotoren
 - -> Schwebungen, d.h. langsame Amplitudenmodulationen der tonalen Signalkomponenten

Schallabstrahlung von Multicoptern

Schmalbandspektrum DJI Mavic 2 Pro beim Schweben im Labor



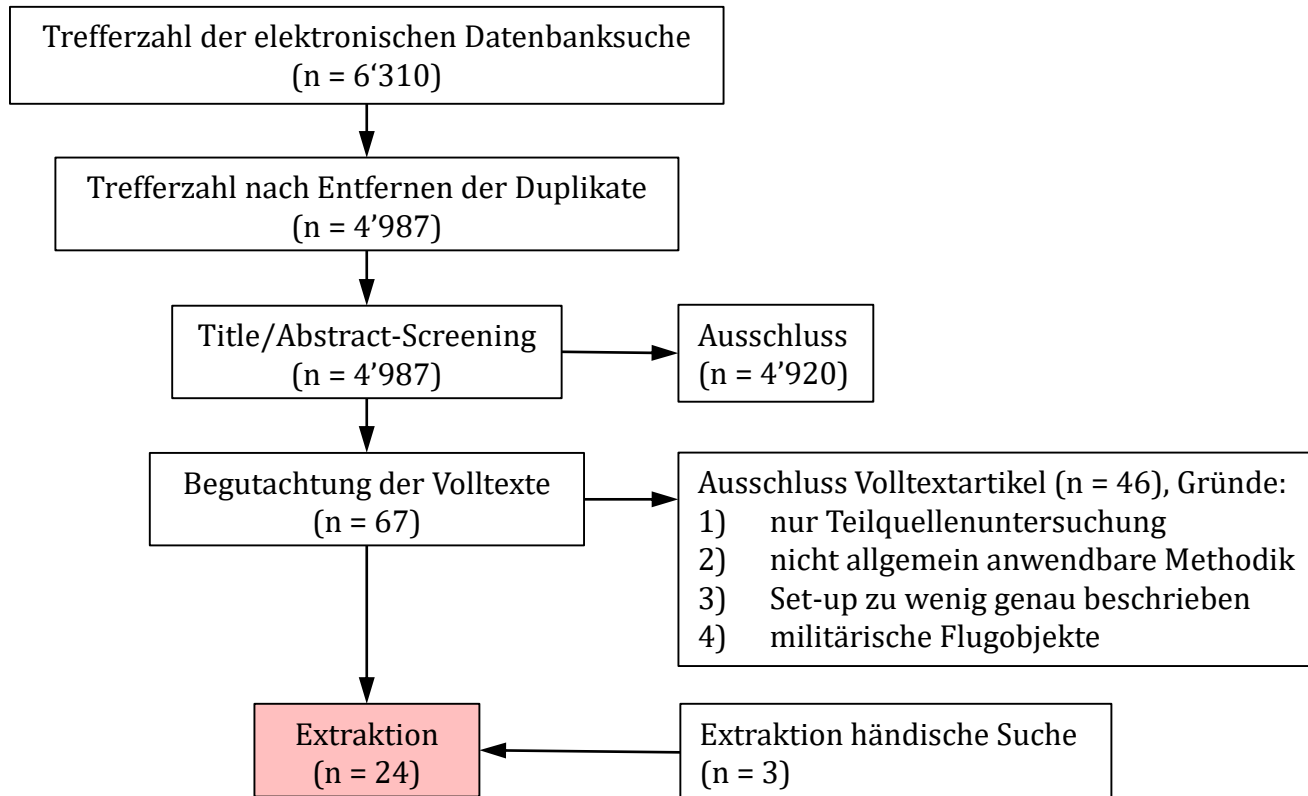
Literaturrecherche zur akustischen Emission

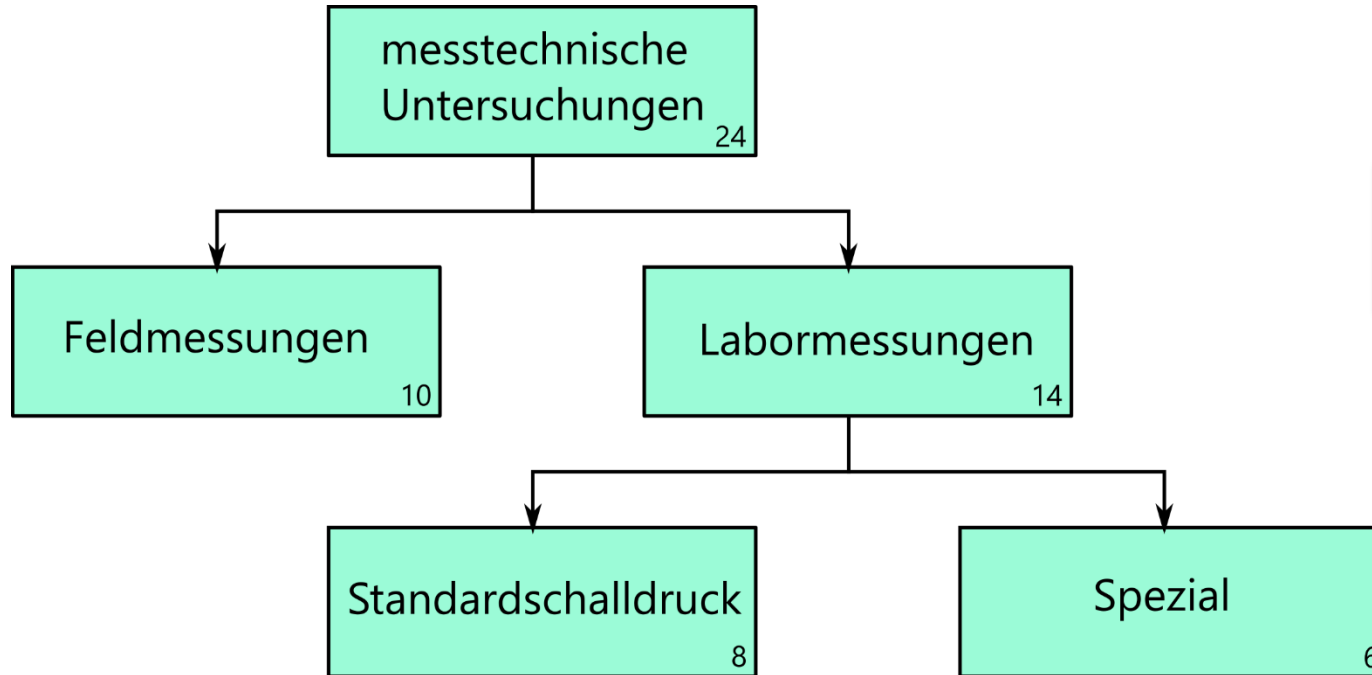


Forschungsfrage:

- *Mit welchen experimentellen Methoden können die akustischen Emissionen von Drohnen vermessen und in ein empirisches Modell überführt werden, und welche Emissionsdaten sind bereits bekannt und dokumentiert?*

Literaturrecherche: Trefferzahlen





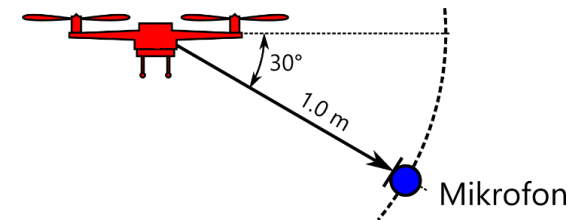
keine
Schalldleistungs-
messungen

- eingesetzte Mikrofonierungen:
 - ein- und unabhängig-mehrkanalige Mikrofonanordnungen
 - Array-Mikrofonierungen mit Phasenbezug zwischen den Sensoren -> Beamforming zur Quellenlokalisierung oder Schalldruckpegelkarten

- akustische Charakterisierung:
 - ganzes Überflugeignis beschrieben durch Maximalpegel oder Ereignispegel
 - stationärer Schalldruckpegel im fixierten bzw. schwebenden Zustand
 - Richtungsabhängig
 - Drehzahl-/Leistungsabhängig

- gewählte Schallausbreitungsbedingungen:
 - Ausschluss von Reflexionen an vertikalen Flächen oder Strukturen
 - Reflexion am Boden:
 - Unterdrückung durch absorbierender Abdeckung
 - Mikrophon in Grenzflächenanordnung
- Untersuchungen im Windkanal:
 - realitätsnaher Betrieb der Drohne
 - hoher apparativer Aufwand
 - eingeschränkter Frequenzbereich auf Grund des hohen Hintergrundgeräusches

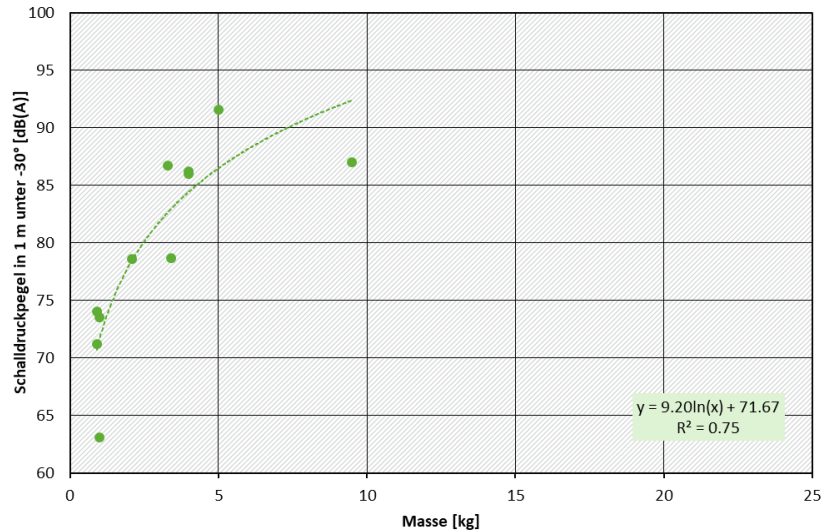
- Selektion von 10 aus 24 Referenzen, für die
 - das Drohnenmodell ausreichend gut beschrieben ist (Masse)
 - die Geometrie der Drohne und der Mikrofone ausreichend genau beschrieben ist
 - der Betriebszustand «Schweben» und/oder «Vorwärtsflug» untersucht wurde
- Umrechnung der Messgrößen in $L_{p,A,1m,-30^\circ}$
d.h. A-bewerteter Schalldruckpegel
im Freifeld in 1 m Abstand unter -30°



Literaturrecherche: Ergebnisse Emissionswerte

Emissionsstärke von Multicoptern

Schweben

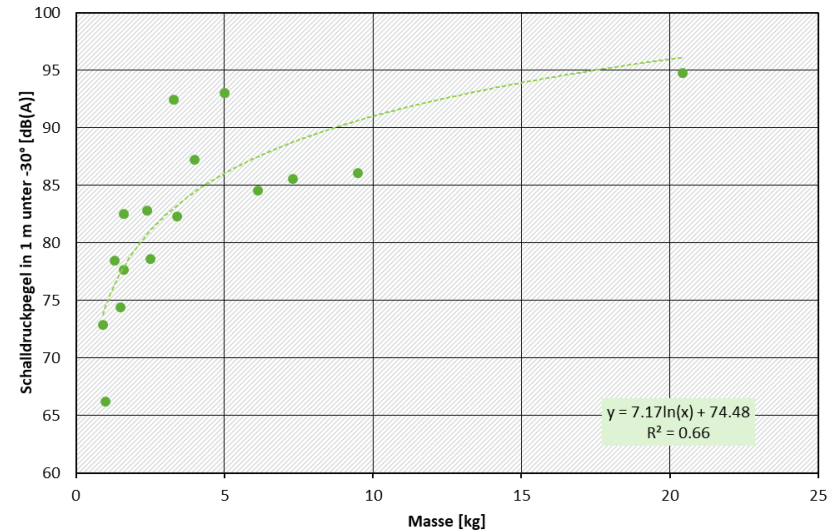


● Datenpunkte

--- Log. (Datenpunkte)

Emissionsstärke von Multicoptern

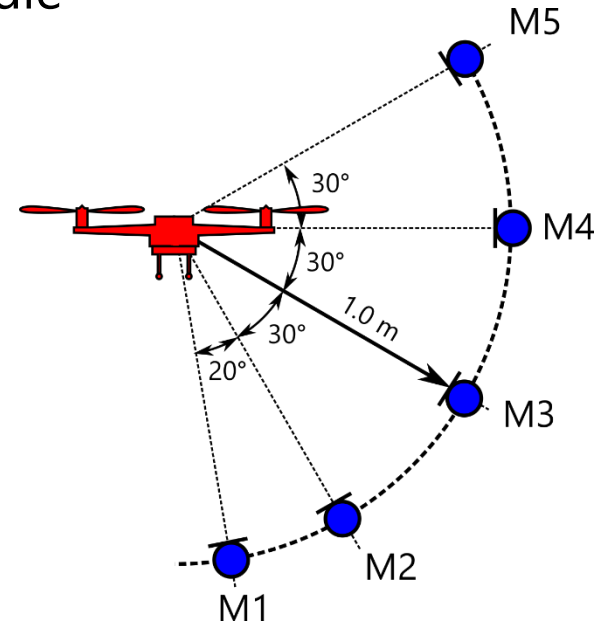
Vorwärtsflug



● Messdaten

--- Log. (Messdaten)

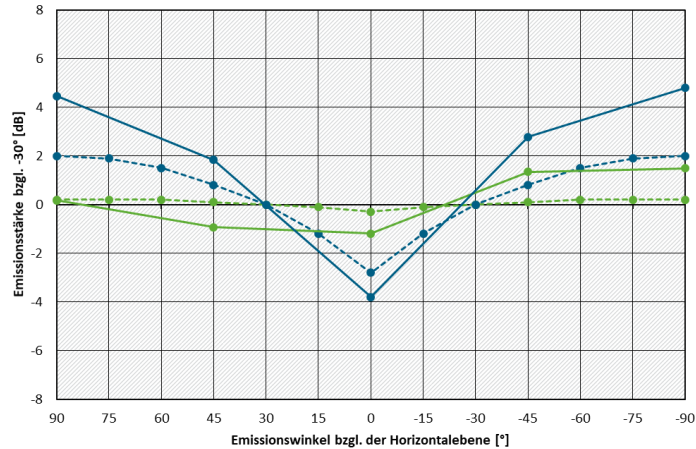
- Selektion von 2 aus 24 Referenzen, für die die Abstrahlung in unterschiedliche Richtungen untersucht wurde



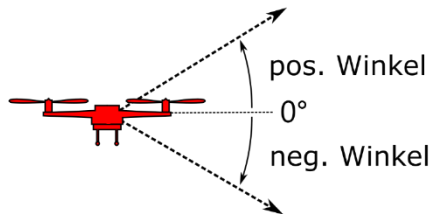
Literaturrecherche: Ergebnisse Emissionswerte

Richtcharakteristik von Multicoptern

Vertikalebene

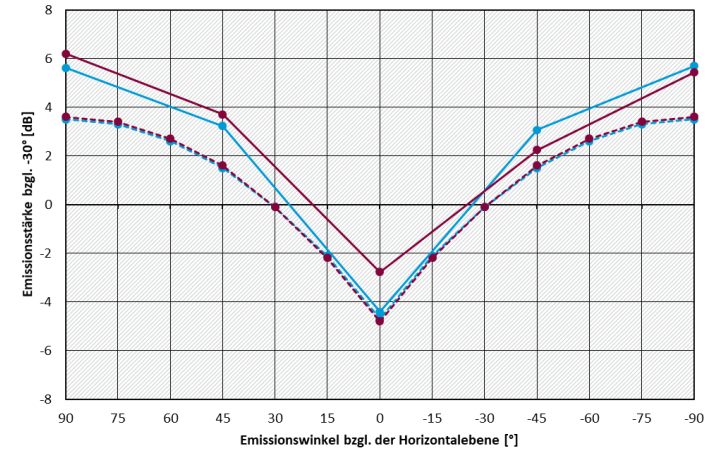


--○-- Heutschi (2020) 125 Hz -●- Heutschi (2020) 500 Hz
—○— Treichel (2019) 125 Hz —●— Treichel (2019) 500 Hz

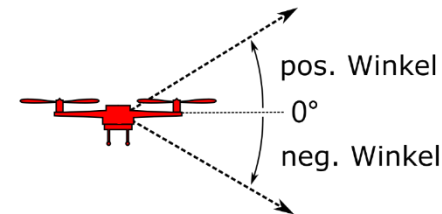


Richtcharakteristik von Multicoptern

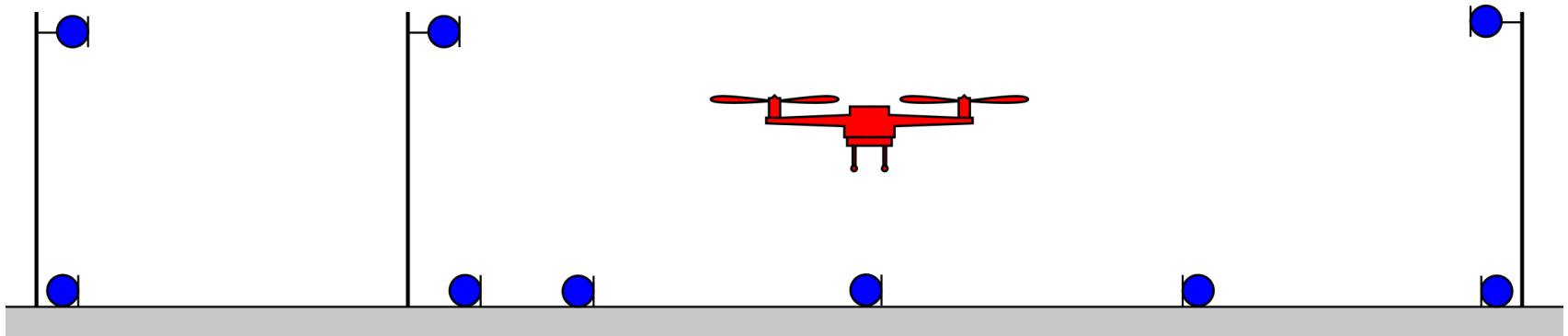
Vertikalebene



-●- Heutschi (2020) 2000 Hz -●- Heutschi (2020) 8000 Hz
—●— Treichel (2019) 2000 Hz —●— Treichel (2019) 8000 Hz



Folgerungen für die Multicoptervermessung



- Anforderungen an ein aus Messungen abgeleitetes Emissionsmodell (Basis für Immissionsprognosen):
 - Beschreibung der Abstrahlung ins Freifeld (Kopplung an Ausbreitungsmodell)
 - soll keine Reflexion am Boden enthalten (unterdrücken oder invertieren)
 - Nachbildung der vertikalen Abstrahlcharakteristik
 - am zuverlässigsten bei schwebender oder langsamer Drohne, prinzipiell unsicher bei schnell fliegender Drohne (kurze Mittelungszeiten)
 - Emissionsstärke für unterschiedliche Betriebszustände
 - Schweben, Steigen, Sinken, Vorwärtsflug

- Mögliches Messkonzept, gestützt auf den Annahmen:
 - Betriebszustände: Schweben, Steigen, Sinken und Horizontalflug mit "typischer" Vorwärtsgeschwindigkeit
 - für alle Betriebszustände wird eine identische relative vertikale Richtcharakteristik angenommen
- Schritt 1:
 - Richtcharakteristikbestimmung für Betriebszustand Schweben im Labor oder im Freien
 - Mikrofone hoch über Boden oder in Grenzflächenanordnung
- Schritt 2:
 - Vermessung eines Ankerpunkts (typische Drohnenposition) für Betriebszustände Steigen, Sinken und Horizontalflug vermessen
 - Mikrofon hoch über Boden oder in Grenzflächenanordnung

Folgerungen für die Drohnenvermessung

- Bemerkungen zu den Geräuschprüfvorschriften gemäss VERORDNUNG (EU) 2019/945
 - Drohne schwebt 0.5 m über reflektierendem Boden
 - Schalleistungsbestimmung über Halbkugel

- Unsicherheiten hinsichtlich „ground effect“?
- Schalleistung enthält keine Richtwirkungsinformation

- interessante Daten
- prüfenswert, ob allgemeingültiges Umrechnungsmodell auf Freifeld und gewünschte Operation gefunden werden kann

