



## **Umgang mit AudioMoth: Vorbereitung und Verwendung des Gerätes**

Anja Steingrobe<sup>\*a</sup>, Felix Zichner<sup>\*a</sup>, Ryo Ogawa<sup>\*a,b</sup>, Milena Meißner<sup>a</sup>, Katharina Schneider<sup>b</sup>,  
Julian Wendler<sup>a</sup> & Anna Cord<sup>a,b</sup> (\*gleichwertiger Beitrag)

<sup>a</sup>TUD Technische Universität Dresden; <sup>b</sup>Universität Bonn

Das ECO²SCAPE wird durch Mittel des BMBF (16LW0079K) als Beitrag zur  
FONA "Forschungsinitiative zum Erhalt der Artenvielfalt" finanziert



# Ziel

Dieses Dokument wurde erstellt, um Erstnutzende bei der Verwendung von AudioMoths zu helfen: Praktiker\*innen, Studierende, Forschende und Lehrende. Es führt Lesende Schritt für Schritt durch den Prozess der Vorbereitung und Konfiguration der AudioMoth, die eigentliche Feldarbeit und die Datenanalyse. Es soll praxisnah sein und stützt sich auf wissenschaftliche Daten und das technische Handbuch des Herstellers.

Nutzen Sie für die erweiterte Anwendung und Konfiguration des Geräts eine ausführliche Anleitung (Rhinehart 2019). Es gibt weitere nützliche Funktionen, die hier nicht erwähnt werden, wie z.B. die Uhr-Funktion oder die drahtlose Konfiguration.

Das Handbuch basiert auf den folgenden Firmware- und Software-Versionen:

- AudioMoth Version 1.1.0 und 1.2.0 von [Open Acoustic Devices](#)
- AudioMoth firmware Version 1.10.1
- Audiomoth Configuration App Version 1.11.1
- BirdNET-Analyzer Version 2.4
- BatDetect2 Version 1.0.6

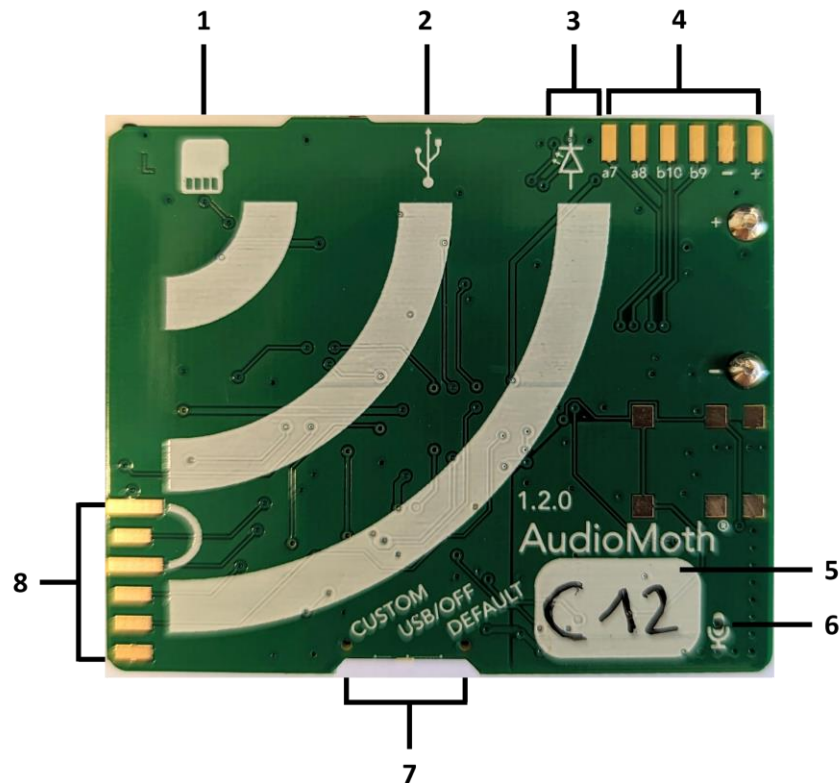
Daher können wir für Probleme, die durch zukünftige Versions-Updates verursacht werden, nicht garantieren.



# Inhalt

<b>Geräteaufbau</b>	<b>3</b>
<b>Grundausrüstung</b>	<b>4</b>
<b>Vorbereitung: Einrichten des AudioMoths vor der Feldarbeit</b>	<b>5</b>
Firmware aktualisieren	5
Technische Konfiguration	5
Registerkarte Recording	6
Registerkarte Schedule	7
Weitere Einstellungen	8
Speicher- und Energieverbrauch	8
Beispielhafte Einstellung	9
<b>Vorbereitung: Planung der Feldarbeit</b>	<b>10</b>
Proben-/Forschungsdesign	10
Grundsätze	10
Stichprobengröße	10
Auswahl des Standorts	11
Zusätzliche Tipps für das Forschungsdesign	12
Einrichten von QField für die Feldarbeit	13
<b>Einsatz von AudioMoths im Feld</b>	<b>14</b>
Planung des AudioMoth-Aufbaus	14
AudioMoth-Einrichtung im Feld	14
Details zur Aufnahme	14
Aktivierung	14
Einsammeln	14
<b>Datenverarbeitung nach der Feldarbeit</b>	<b>15</b>
Visualisierung des Spektrogramms in Audacity	15
Visualisierung des Spektrogramms in R	16
Arbeitsablauf von Tonerkennungsmodellen	17
BirdNET	17
BatDetect2	19
<b>Wartung</b>	<b>22</b>
Austausch der akustischen Membran des AudioMoth-Schutzgehäuses	22
Regelmäßige Überprüfung der Akkuladung bei Nichtgebrauch	22
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>

# Geräteaufbau



Das Bild oben zeigt eine AudioMoth (eigene Darstellung). Die Zahlen im Aufbau bedeuten:

1. **MicroSD-Kartenschlitz:** Stecken Sie hier eine microSD-Karte ein, um Ihre Aufnahmen zu speichern. Hinweise zum Umgang mit der Karte finden Sie unter "[Auswahl des SD-Kartenspeichers und erwarteter Energieverbrauch](#)".
2. **USB-Anschluss:** Verbinden Sie die AudioMoth über ein handelsübliches microUSB-Kabel mit einem Computer.
3. **Status-LEDs:** Eine grüne und eine rote LED, die den Status der AudioMoth anzeigen. Weitere Informationen finden Sie hier: [Link](#)
4. **Freigelegte GPIO-Pins:** Eine Reihe von Allzweck-Pins, die zur Kommunikation mit und zum Hinzufügen von [externen Modulen](#) verwendet werden können (z.B. GPS-synchronisiertes Uhr-Modul für das zukünftige Update).
5. **Leeres Feld:** Wir empfehlen Ihnen, Ihr Gerät hier zu beschriften und ihm eine spezifische ID zuzuweisen.
6. **Mikrofon:** Ein analoges MEMS-Mikrofon. Achten Sie beim Einsetzen des Geräts in ein Gehäuse darauf, dass es richtig herum eingesetzt wird, so dass das **Mikrofon unter dem kleinen Loch mit der Schallöffnung** liegt.
7. **Modus-Schalter:** Wechseln Sie zwischen drei Modi: „CUSTOM“, „USB/OFF“ und „DEFAULT“. Siehe "[Technische Konfiguration](#)" für weitere Informationen.
8. **Programmierleiste:** Eine Reihe von Pins, die zum Aufspielen von Firmware auf das Gerät verwendet werden können.

# Grundausrüstung

Notwendig:

Batterie +	Jedes AudioMoth wird von 3 AA-Batterien gespeist. Vergewissern Sie sich, dass diese vor dem Gebrauch vollständig aufgeladen sind. Ein Beispiel für eine empfohlene Marke ist Powerowl AA wiederaufladbare Batterien ( <a href="#">Link</a> ).
Ladegerät	Ein Beispiel für eine empfohlene Marke ist ANSMANN POWERLINE 8 ( <a href="#">Link</a> ).
Schutzhüllen	Zum Schutz der elektronischen Teile muss pro Gerät ein Gehäuse verwendet werden. <b>Achten Sie auf die kleine Membran, die das Mikrofonloch abdeckt.</b> Diese neigen dazu, leicht kaputt zu gehen, was Ihre Aufnahmen beeinträchtigen kann.
microSD Karte	Die fallspezifische minimale Speichergröße von SD-Karten für AudioMoth-Geräte wird durch die Konfigurations-Apps vorgegeben. Um jedoch flexibel zu bleiben und bei Bedarf längere Aufnahmen mit hoher Abtastrate machen zu können, wird eine Speichergröße von 64 GB oder mehr empfohlen. Siehe Abschnitt „ <a href="#">Speicher- und Energieverbrauch</a> “
Laptop	Für die Einrichtung Ihrer AudioMoth benötigen Sie einen Laptop oder Desktop-PC. Es gibt keine besonderen Anforderungen an die technischen Eigenschaften.
Kabel	Verwenden Sie ein Micro-USB-Kabel, um die Geräte mit Ihrem Laptop oder Desktop-PC zu verbinden.

Optional:

Pfahl und Hammer	Überlegen Sie im Voraus, wie Sie die Audiogeräte im Feld sicher installieren können. Wenn möglich, nutzen Sie Bäume und vorhandene Masten, um deren Stabilität und die diskrete Platzierung des Geräts zu nutzen. Mehr darüber, was zu beachten ist, wenn Sie die Geräte ins Gelände bringen, erfahren Sie im Abschnitt „ <a href="#">AudioMoth-Einrichtung im Feld</a> “. Allerdings können Sie nicht jeden Baum vorhersagen, also nehmen Sie ein paar Holzpfähle und einen Gummihammer mit, um flexibel zu bleiben.
Gummibänder und Klettstreifen	Verwenden Sie Gummibänder oder Klettstreifen, um die Geräte an Pfählen und Bäumen zu befestigen. Gummibänder erwiesen sich als flexibler in Bezug auf die Größe des Pfahls. Nehmen Sie beides, um sicherzugehen.
Tarnmaterial	Entscheiden Sie je nach Projekt, ob es notwendig ist, die Geräte mit einem Tarnstoff zu bedecken.
Leiter	Dies ist hilfreich, wenn die Geräte in einer größeren Höhe angebracht werden sollen.

# Vorbereitung: Einrichten des AudioMoths vor der Feldarbeit

## Firmware aktualisieren

Bevor Sie mit der Konfiguration des Geräts beginnen, sollten Sie dessen Firmware aktualisieren. Dafür

- laden Sie die aktuelle AudioMoth Flash App von der [Anwendungsseite](#) herunter,
- schließen Sie das Gerät über ein Micro-USB-Kabel an Ihren Computer an,
- folgen Sie den Schritten in der App zur Aktualisierung.

## Technische Konfiguration

Sie können zwischen den Modi „**DEFAULT**“ und „**CUSTOM**“ wählen. Der erste Modus zeichnet mit einer Abtastrate von 48 kHz für unbegrenzte Zeit auf, während der zweite Modus es Ihnen ermöglicht, die Aufzeichnungen individuell zu gestalten, z. B. durch die Festlegung bestimmter Zeiten oder Frequenzen, was für die Fokussierung auf bestimmte Arten nützlich ist. Eine auf einem Gerät installierte Konfiguration bleibt auch dann erhalten, wenn die Stromversorgung unterbrochen wird. Nur die aktuelle Uhrzeit wird zurückgesetzt. Legen Sie deshalb vor dem Konfigurieren unbedingt Batterien in das Gerät ein, wenn Sie einen Zeitplan für Ihre Aufnahmen einrichten möchten.

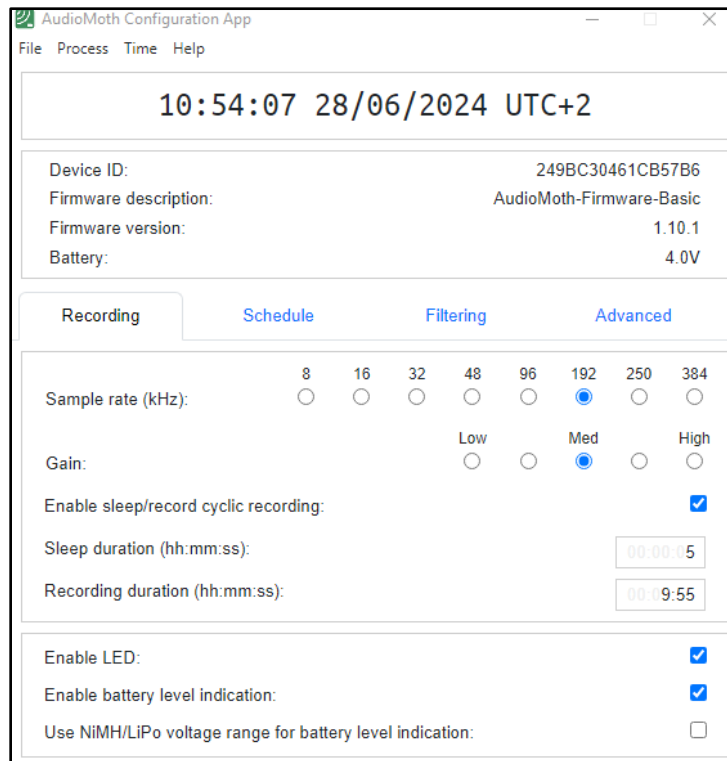
Installieren und öffnen Sie die zweite wichtige Software für die Verwendung Ihres AudioMoths, die **AudioMoth Configuration App** (kann von der [Anwendungsseite](#) heruntergeladen werden). Verbinden Sie ein AudioMoth im Modus „**USB/OFF**“ über ein Micro-USB-Kabel mit Ihrem Computer.

Die App hat vier Registerkarten: Wir gehen nur auf den Aufnahme- ([Recording](#)) und den Zeitplanbereich ([Schedule](#)) der App ein, da dies die grundlegenden Bereiche sind.

Achten Sie auf den unteren Teil des [Konfigurationsfensters](#). Dort finden Sie den berechneten Speicherplatz, der für Ihren Zeitplan pro Tag benötigt wird, und den täglichen Energieverbrauch basierend auf Ihren Einstellungen. So können Sie ständig überprüfen, ob Ihre Einstellungen im Rahmen Ihrer technischen Möglichkeiten liegen.

**Wichtig zu wissen: Im Abschnitt „File“ können Sie Ihre Konfiguration speichern und später laden, um sie über mehrere Geräte hinweg konstant zu halten.**

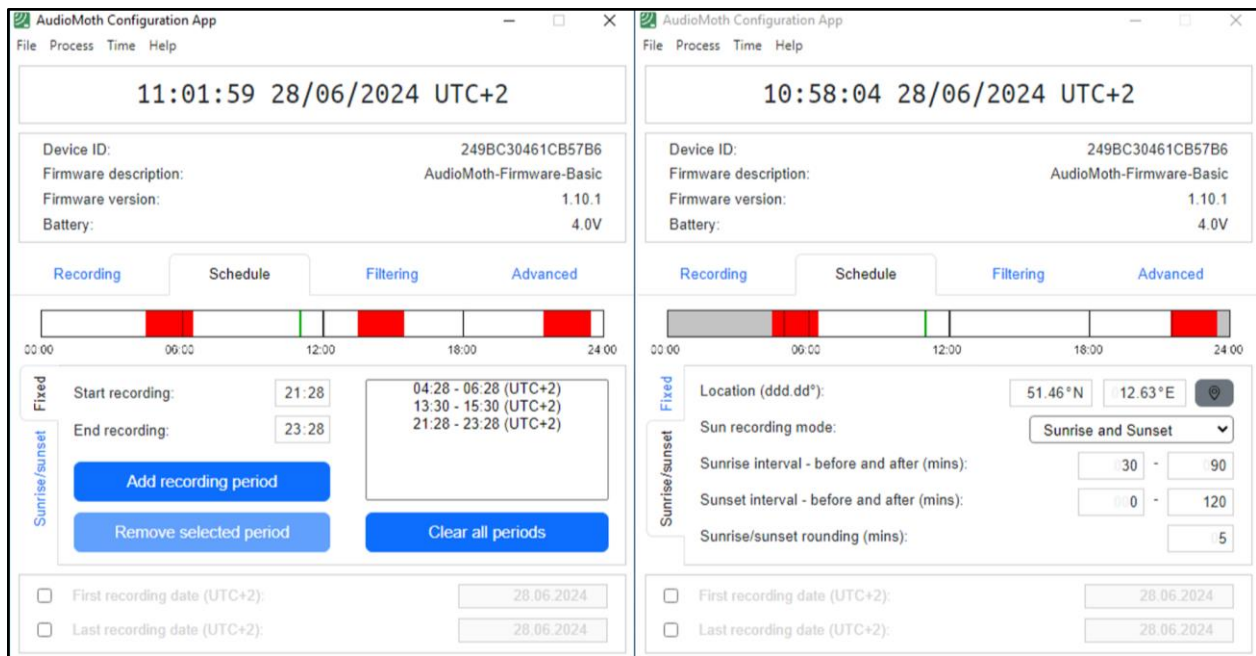
## Registerkarte *Recording*



Anzeige der Registerkarte “*Recording*” in der AudioMoth Configuration App, beispielhafte Einstellungen aus der ECO<sup>2</sup>SCAPE-Feldarbeit.

- **Sample rate (Abtastrate) (kHz):** Die Abtastrate ist die Anzahl der pro Sekunde aufgenommenen Audio-Samples. Höhere Abtastraten führen zu Aufnahmen mit einer größeren Frequenzbandbreite, aber auch zu einer größeren Dateigröße.  
*Faustregel.* Sie sollten eine Abtastrate verwenden, die **mindestens das Zweifache der höchsten Frequenz beträgt, die Sie aufnehmen möchten** (Nyquist 1928).
- **Gain (Verstärkung):** Die Verstärkung beschreibt, wie stark die Aufnahmen verstärkt werden. Wenn es keine extremen Geräuschstörungen gibt, sollten Sie den Wert auf „Medium“ belassen. Wenn die Verstärkung zu niedrig ist, kann das Gerät entfernte Geräusche überhören, wenn sie sehr hoch eingestellt ist, besteht die Gefahr, dass die Aufnahme übersteuert und der Originalton verzerrt wird.
- **Sleep/Record Cycle (Ruhe-/Aufnahmezyklus) aktivieren:** Wenn Sie dieses Kontrollkästchen aktivieren, wird das Gerät entsprechend der darunter eingestellten Dauer abwechselnd aufzeichnen und nicht aufzeichnen. Wenn Sie möchten, dass Ihr Gerät ununterbrochen in dem von Ihnen im Zeitplan festgelegten Zeitrahmen aufnimmt, deaktivieren Sie dieses Kontrollkästchen.
- **Sleeping duration (Dauer des Ruhezustandes) (hh:mm:ss) & Recording duration (Aufnahmedauer) (hh:mm:ss):** Wenn Sie einen Zeitplan für Ihre Aufnahmen erstellen, schaltet das Gerät während der geplanten Zeitspannen zwischen Ruhezustand und Aufnahme um. Für jeden Aufnahme-Ruhe-Zyklus wird eine separate Audiodatei auf die SD-Karte geschrieben.

## Registerkarte *Schedule*



Anzeige der Registerkarte „Schedule“ in der AudioMoth Configuration App, beispielhafte Einstellungen aus der ECO<sup>2</sup>SCAPE-Feldarbeit (getrennte Zeiträume für Vögel (morgens), Heuschrecken (nachmittags) und Fledermäuse (abends)).

- **Time (Zeit):** Im Abschnitt „File“ in der oberen linken Ecke des Fensters können Sie die lokale Zeitzone anstelle von UTC wählen. Beachten Sie bei der Verwendung der Zeitplanfunktion, dass die Geräte ständig mit Strom versorgt sein müssen, damit die Uhr nicht stehen bleibt.
- **Recording periods (Aufnahmezeiträume):** Sie können bis zu vier feste Aufnahmezeiträume von beliebiger Länge erstellen, die alle 24 Stunden wiederholt werden. Es ist auch möglich, die Aufnahmezeiträume an den Sonnenauf- und -untergang oder die zivile, nautische oder astronomische Morgendämmerung (die ebenfalls im Abschnitt „File“ geändert werden kann) an einem bestimmten Ort anzupassen.
- **Recording dates (Aufnahmetermine):** Das Datum der ersten und/oder letzten Aufzeichnung kann festgelegt werden, um unnötige Aufnahmen zu vermeiden. Darüber hinaus ist eine Vereinheitlichung des Zeitplans sehr zu empfehlen, wenn die Vergleichbarkeit der Daten von mehreren Geräten erforderlich ist.



## Weitere Einstellungen

**Registerkarte „Filtering“:** Die Registerkarte „Filtering“ ist wichtig, wenn Ihre Aufnahmen die Speicher- oder Leistungsgrenzen überschreiten könnten. Das Gerät speichert dann nur relevante Informationen - Ihre voreingestellten Frequenzen und Amplituden.

**Registerkarte „Advanced“:** Hier können Sie einige zusätzliche Aufnahmeeinstellungen und -funktionen aktivieren. Wir raten davon ab, diese Registerkarte zu ändern, es sei denn, Sie sind sich der Auswirkungen Ihrer Handlungen vollumfänglich bewusst.

## Speicher- und Energieverbrauch

Each day this will produce 36 files, each 228 MB, totalling 8225 MB.  
Daily energy consumption will be approximately 150 mAh.

Übersetzung: „Jeden Tag werden 36 Dateien mit je 228 MB erzeugt, insgesamt 8225 MB.  
Der tägliche Energieverbrauch liegt bei etwa 150mAh.“

Anzeige des täglichen Speicher- und Energieverbrauchs in der AudioMoth Configuration App (unter Bereich) basierend auf den in den Abbildungen der Registerkarten „Recording“ und „Schedule“ verwendeten beispielhaften Einstellungen (tägliche Gesamtaufnahmedauer von 6 Stunden bei 192 kHz).

Im unteren Teil des Fensters zeigt Ihnen die Konfigurations-App an, wie viel Speicherplatz Sie benötigen und wie hoch der tägliche Energieverbrauch bei eingestelltem Zeitplan und Abtastrate sein wird. Prüfen Sie daher, ob der freie Speicherplatz auf der microSD-Karte ausreicht.

## Beispielhafte Einstellung

Hier zeigen wir einige Beispiele für die Konfigurationseinstellungen von AudioMoths. Es wird jedoch immer empfohlen, die spezifische Frequenz Ihrer Zielart zu ermitteln, falls dies möglich ist (Hill et al. 2019).

Zu erfassende Arten	Frequenzbereich	Minimale Abtastrate	Empfehlungen für den Zeitplan (basierend auf Aktivitätsspitzen)
Insekten	Artspezifisch, < 1 kHz - 150 kHz (Robinson and Hall 2002)	Abhängig vom Frequenzbereich der Zielarten (s. <a href="#">Registerkarte Recording</a> )	Artspezifisch
Vögel	2-16 kHz	32 kHz	Um den Sonnenauf- und -untergang herum, z.B. 1 Stunde vor Sonnenaufgang bis 2 Stunden danach + 1 Stunde beiderseits des Sonnenuntergangs ( <a href="#">Link</a> )
Fledermäuse	20-60 kHz (Fenton et al. 1998). Höchste Frequenz kann bei 212 kHz liegen ( <i>Cloeotis percivali</i> ; Fenton and Bell 1981)	192 kHz	Um den Sonnenuntergang herum, z.B. 0,5 Stunden davor bis 1,5 Stunden oder länger danach

# Vorbereitung: Planung der Feldarbeit

## Proben-/Forschungsdesign

Das Design der Probenahme (Forschungsdesign) ist entscheidend, um qualitativ hochwertige Daten zu erhalten, die verlässliche Ergebnisse beim passiven akustischen Monitoring (PAM) liefern. Wenn Sie das Design Ihrer Feldkampagne und Ihre Ziele bereits im Voraus festgelegt haben, können Sie mit dem Abschnitt [Einsatz von AudioMoths im Feld](#) fortfahren.

## Grundsätze

Green (1979) schlug 10 Grundsätze für das Forschungsdesign in Ökologie und Umweltwissenschaften vor. Die Konzepte sind daher auch auf den Fall von PAM anwendbar. Wir führen seine Prinzipien hier kurz auf:

- Formulieren Sie die Forschungsfrage explizit.
- Nehmen Sie Wiederholungsproben für jede Kombination von Zeit, Ort und jeder zielspezifischen Variable.
- Weisen Sie nach dem Zufallsprinzip die gleiche Anzahl von Wiederholungsstichproben für jede Kombination von Variablen zu.
- Nehmen Sie eine Kontrolle (z.B. ein Referenzstandort) in das Stichprobendesign auf (bei einem experimentellen Design).
- Führen Sie, wenn möglich, eine vorläufige Probenahme durch.
- Validieren Sie eine effiziente und unvoreingenommene Stichprobenmethode.
- Stratifizieren Sie die Stichprobe in Teilgebiete, wenn das Untersuchungsgebiet ein großflächiges räumliches Muster aufweist.
- Wählen Sie eine geeignete Größe der Stichprobeneinheit und die Anzahl der Stichproben.
- Wählen Sie eine statistische Analyse auf der Grundlage der Dateneigenschaften.
- Akzeptieren Sie das Ergebnis der besten statistischen Methode.

## Stichprobengröße

Wir werden eine einfache Methode zur Schätzung des geeigneten Stichprobenumfangs mithilfe der WebPower-Website vorstellen (Mai und Zhang 2017). Die Benutzeroberfläche der WebPower-Software hilft Ihnen dabei, die Mindeststichprobengröße (z. B. die Anzahl der Standorte) zu bestimmen, die für [binäre Daten auf der Grundlage der Erfassung/Nichterfassung einer Art](#) oder für [Zählungen auf der Grundlage der Stimmzählungen einer Art](#) erforderlich ist.

## Beispiel

Wir wollen untersuchen, ob sich die Präsenz (Anwesenheit/Abwesenheit) der Feldlerche (*Alauda arvensis*) zwischen Brachland und Ackerland unterscheidet. Um diesen Unterschied zu untersuchen, führen wir eine Power-Analyse durch, um die erforderliche Anzahl von Probenahmestellen zu berechnen.

- **Group (Gruppe) = 2** (Gruppen von Brachland vs. Ackerland)
- **Effect size (Effektgröße) = 0.2** (klein), 0.5 (mittel) oder 0.8 (groß), vorgeschlagen von Cohen (1988)
- **Significance level** (Signifikanzniveau) = 0.05 vorgeschlagen von Cohen (1988)
- **Power (Potenz) = 0.8** vorgeschlagen von Cohen (1988)

Sobald wir die idealen Werte festgelegt haben, geben wir sie in die Felder ein und erhalten den idealen Stichprobenumfang (z. B. jeweils für Brachland und Ackerland:  $n = 31$  in der rechten Abbildung).

### One-way ANOVA with Binary Data

Parameters (Help)	
Number of groups	<input type="text" value="2"/>
Sample size	<input type="text"/>
Effect size (Calculator)	<input type="text" value="0.5"/>
Significance level	<input type="text" value="0.05"/>
Power	<input type="text" value="0.8"/>
Type of analysis	Overall ▾
Power curve	No power curve ▾
Note	Binary ANOVA

### Output

```
One-way Analogous ANOVA with Binary Data

k   n   V alpha power
2 31.4 0.5 0.05 0.8

NOTE: n is the total sample size
URL: http://psychstat.org/anovabinary
```

## Auswahl des Standorts

Die Auswahl des Standorts sollte auf der Grundlage des Ziels der Studie getroffen werden. Wood und Peery (2022) stellten zwei Stichprobendesigns für die Präsenz einer Art (d. h. Anwesenheit/Abwesenheit) vor: Präferenzstichproben und Zufallsstichproben.

- **Präferenzstichproben** erfordern Kenntnisse über biologisch wichtige Standorte und die Raumnutzung der Zielart. Sie ist am ehesten für kleinräumige Untersuchungen geeignet, um die Besiedlungsrate des Besiedlungsgebiets zu ermitteln.
- **Zufallsstichproben** werden üblicherweise in landschaftsbezogenen bis regionalen Projekten verwendet, um schnell eine repräsentative Abdeckung zu erreichen und die Besiedlungsrate im Verbreitungsgebiet zu bestimmen.

In beiden Fällen wird jede AudioMoth idealerweise mit einem großen Abstand zur nächsten (einzelfallabhängig, wir empfehlen mindestens 150m) eingesetzt, um zu vermeiden, dass dieselbe Vokalisierung von mehreren Geräten identifiziert wird, was in der statistischen Analyse zu einer Pseudoreplikation führt. Obwohl Wood und Peery sich in erster Linie auf den Besiedlungsstatus einer Art konzentrieren, erörterten sie auch das Potenzial dieser Probenahmemethoden in Bezug auf die Vokalaktivitätsraten.

## Überblick über Präferenz- und Zufallsstichproben von Wood und Peery (2022)

	Präferenzstichproben	Zufallsstichproben
Gemessener Wert	Besiedlungsrate des Besiedlungsgebiets	Besiedlungsrate im Bereich des Vorkommens
Methode	AudioMoths werden an Orten installiert, die von den Arten häufig aufgesucht werden	Die Beobachtungsstandorte sind zufällig innerhalb eines Rasters verteilt
Artenvielfalt in Bezug auf	Besiedlungsgebiet, oft in Verbindung mit biologischen Informationen über das Territorium	Bereich des Vorkommens
Vor- und Nachteile	einfachere Interpretation, größere Präzision, aber Vorkenntnisse erforderlich	logistisch einfaches Studiendesign

## Zusätzliche Tipps für das Forschungsdesign

- Allgemeiner Überblick über das Studiendesign: Links für [Vögel](#) und [Fledermäuse](#)
- Beachten Sie die Topografie. In hügeligeren Gebieten kann eine optimale Platzierung von Audiorekordern die erforderliche Anzahl an Geräten halbieren (Piña-Covarrubias et al. 2019).
- Versuchen Sie es mit einer App für Faustregeln für das Studiendesign (die Website [Rainforest Connection](#) bietet ein Beispiel).
- Wenn Sie keine besonderen Ziele verfolgen, sollten Sie keine Orte auswählen, an denen Hindernisse die Tonaufnahme beeinträchtigen (z. B. Autobahnen, laute Wasserwege, Windturbinen, große elektrische Anlagen).
- Vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten: Überprüfen Sie die Zugänglichkeit und bereiten Sie einige Ausweichstandorte vor (Bäume oder Sträucher, an denen die Tonaufzeichnungsgeräte angebracht werden sollen, können entweder abgestorben oder gefällt worden sein; Pflanzen wie Sonnenblumen und Mais können es unmöglich machen, den Standort zu erreichen, wenn er vollständig vom Feld umschlossen ist).

## Einrichten von QField für die Feldarbeit

Nachdem Sie Ihr Studiendesign fertiggestellt und entschieden haben, wo die AudioMoths eingesetzt werden sollen, können Sie eine digitale Karte Ihrer Geräte-Standorte erstellen, um einen besseren Überblick zu haben. Diese Karte hilft Ihnen bei der Ausbringung im Feld und ermöglicht es Informationen mit Ihren Kolleg\*innen auszutauschen. Die [QField-App](#) ist ein nützliches Tool für diesen Zweck, welches Sie auf Ihrem Smartphone oder Tablet verwenden können. Natürlich gibt es auch andere Apps, die Sie verwenden können, aber wir empfehlen QField. Um die App zu nutzen, folgen Sie den hier beschriebenen Schritten:

- **Erstellen Sie ein QGIS-Projekt mit den benötigten Informationen.** Sie können zudem Formulare einrichten, um während der Feldarbeit zusätzliche Informationen zu Ihren Standorten zu dokumentieren.
- **Erstellen Sie ein [QFieldCloud](#)-Konto.** Laden Sie Ihr QGIS-Projekt in die Cloud, damit Sie in der QField-App auf das Projekt zugreifen können.
- **Teilen Sie die Karte mit Ihren Kolleg\*innen.** Fügen Sie deren QFieldCloud-Konto zum Projekt hinzu, so dass alle das gleiche QGIS-Projekt im Feld verwenden/bearbeiten können.
- **Installieren Sie die QField-App.** Laden Sie die entsprechende Version für Ihr [Android](#)- oder [iOS](#)-Gerät herunter.
- **Laden Sie das Kartenprojekt.** Öffnen Sie die App und laden Sie das Kartenprojekt, das die geplanten Standorte enthält. Sie können es entweder aus der QFieldCloud (empfohlen) oder aus dem lokalen Speicher Ihres Telefons laden.
- **Lokalisieren Sie die geplanten Standorte.** Verwenden Sie die App, um zu den geplanten Standorten zu navigieren, die auf der Karte markiert sind. Befolgen Sie an jedem Standort das Verfahren zur Einrichtung Ihrer Ausrüstung.
- **Standorte speichern (optional).** Bei Bedarf können Sie auch neue Standorte mit den genauen Koordinaten der Geräte speichern.
- **Erfassen von Felddaten (optional).** Erfassen Sie die Umweltdaten im Formular des zu Beginn erstellten QGIS-Projekts.
- **Exportieren der Karte oder der relevanten Daten aus QField.** Wenn Sie mit QFieldCloud arbeiten, synchronisieren Sie einfach das QGIS-Projekt.

# Einsatz von AudioMoths im Feld

## Planung des AudioMoth-Aufbaus

Bei großen Entfernungen oder geografischen Hindernissen zwischen den Standorten sollte eine vernünftige Route anhand der Koordinaten der Standorte vorbereitet werden. Wenn Sie einen Laptop mit der AudioMoth-Konfigurations-App und ein Micro-USB-Kabel zur Hand haben, können Sie eventuelle Planungsfehler während der Feldarbeit vor Ort korrigieren.

## AudioMoth-Einrichtung im Feld

Am Standort angekommen, muss das Gerät entsprechend den örtlichen Gegebenheiten optimal installiert werden, insbesondere wenn die örtliche Vegetation zur Befestigung und zum Verstecken genutzt wird. Hier kann die optionale Ausrüstung (Abschnitt [Grundausstattung](#)) hilfreich sein. Die Höhe und Richtung des Mikrofons sollten einheitlich sein, insbesondere bei Aufnahmen entlang von Hecken, Baumreihen usw. Unabhängig von den akustischen Auswirkungen gilt als Faustregel, dass die Audiorekorder oberhalb der Kopfhöhe (ca. 1,8 m) außerhalb der Reichweite und visuellen Wahrnehmung der meisten Tiere installiert werden sollten. (Hill et al. 2019).

## Details zur Aufnahme

Nun sollten die Geräte-ID und, falls abweichend von der Planung, die genauen Koordinaten dokumentiert werden. Um das Auffinden der AudioMoths zu erleichtern, können Fotos gemacht werden. Diese sind vor allem nach längeren Aufzeichnungszeiträumen mit Veränderungen der Vegetation besonders hilfreich und können in QField direkt mit dem Standort verknüpft werden.

## Aktivierung

Falls noch nicht geschehen, wird nun der **Geräteschalter** von „**DEFAULT**“ auf „**CUSTOM**“ umgestellt. Sie können überprüfen, ob der Aufzeichnungszeitplan ordnungsgemäß ausgeführt wird, indem Sie sich den Status der LED ansehen. Ein einzelnes grünes Blinken (10 ms) alle zwei Sekunden, während die rote LED nicht leuchtet, bedeutet, dass das Gerät im Schlafmodus ist, und ein intermittierendes einzelnes rotes Blinken bedeutet, dass der Aufzeichnungsmodus läuft. Weitere Einzelheiten finden Sie unter [diesem Link](#).

## Einsammeln

Nach dem Aufzeichnungszeitraum werden die Geräte anhand der Koordinaten und Fotos eingesammelt. Wenn möglich, sollte die Person, die die Geräte aufgestellt hat, diese einsammeln, um sie schneller wiederzufinden.

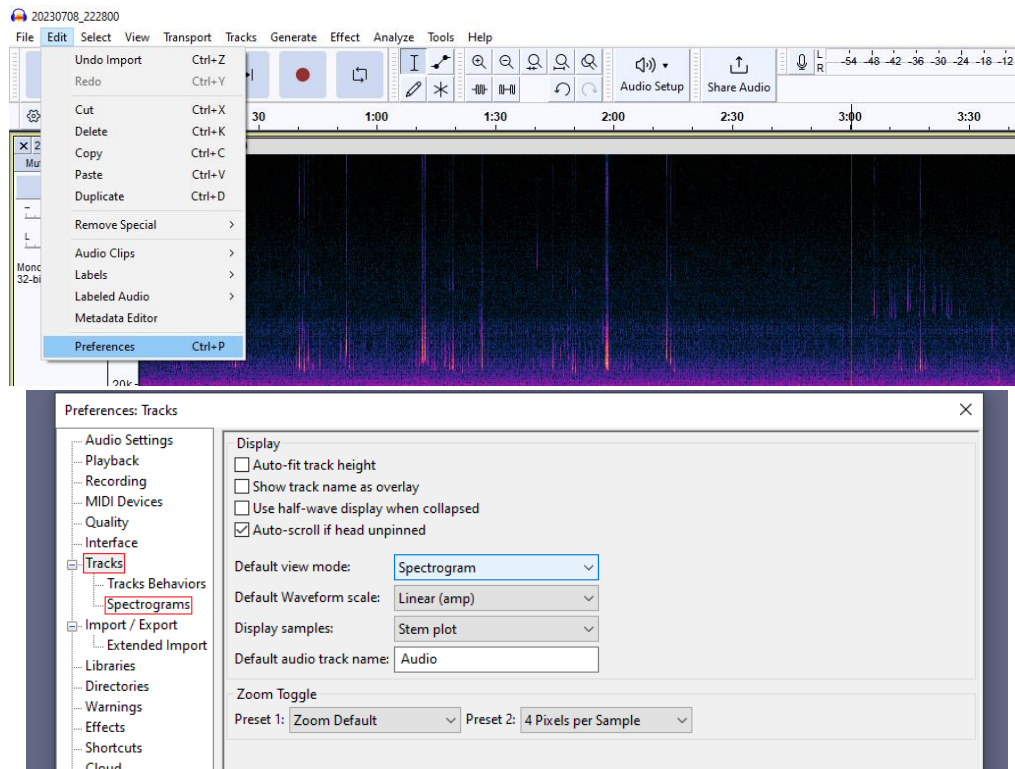
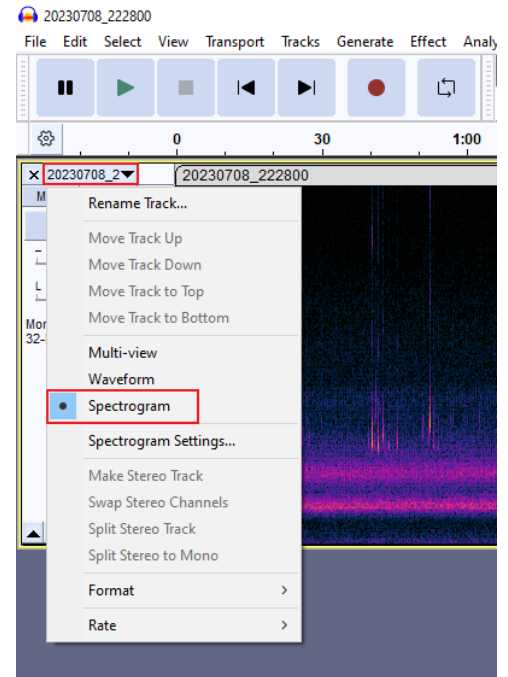
# Datenverarbeitung nach der Feldarbeit

## Visualisierung des Spektrogramms in Audacity

[Audacity](#) ist eine kostenlose Software zur Visualisierung und Bearbeitung von Tonaufnahmen. Das Programm kann auch verwendet werden, um Spektrogramme für Audiodaten anzuzeigen.

Audiodateien können über File > Import > Audio oder durch Ziehen einer Datei in die Oberfläche in das Programm importiert werden. Um schnell zur Spektrogramm-Ansicht für nur eine Audiospur zu wechseln, folgen Sie den Anweisungen auf dem rechten Bild.

Wenn Sie die Standardeinstellungen so ändern möchten, dass die Spektrogrammansicht von Anfang an angezeigt wird, können Sie dies über Edit > Preferences > Tracks tun (siehe Bilder unten). Weitere Einstellungen für die Spektrogramm-Ansicht, wie z.B. die maximale Frequenz oder das Format der Skala, können Sie ebenfalls hier im Reiter Spectrograms ändern.





## Visualisierung des Spektrogramms in R

Wir konzentrieren uns in diesem Abschnitt darauf, den sehr grundlegenden Prozess des Lesens und Segmentierens von Audiodateien für die visuelle Darstellung zu demonstrieren, da die Durchführung einer umfassenden akustischen Analyse in R außerhalb des Rahmens dieses Dokuments liegt. Für Interessierte erklärt Sueur (2018) eine ausführliche Methodik und Synthese zur Klanganalyse mit R.

Voraussetzungen:

- Es wird eine beliebige WAV-Datei aus einer Feldstudie (eine Beispieldatei ist hier verfügbar: [audiomoth\\_handbook.wav](#))
- Das Programm R ist auf Ihrem Computer installiert
- Grundkenntnisse in der R-Programmierung

---

```
#### Rscript (klicken Sie auf visualizing spectrogram in R.R, um das Rscript herunterzuladen)
# Install R packages
install.packages(c("tuneR", "seewave"))

# load packages
library(tuneR)
library(seewave)

# read in WAV file using readWave() function from "tuneR" package
inp <- readWave("../audiomoth_handbook.wav") # please specify folder path in "...

# Segment audio data for a specific time span using cutw() function from "seewave" package
# Here, we segmented wav object between 132 and 140 seconds, assuming we already knew where a
bird song can be found
d <- cutw(inp, from = 132, to = 140, output = "Wave")

# Visualize segmented wav object as spectrogram using spectro() function from "seewave" package
spectro(d)
```

---

# Arbeitsablauf von Tonerkennungsmodellen

Tonerkennungsmodelle ermöglichen uns die automatische Identifizierung von Arten anhand von Spektrogrammen aus Audioaufnahmen. Dabei ist zu beachten, dass die Modelle Fehler machen können, z. B. das Nichterkennen oder die falsche Klassifizierung von Arten. Der Konfidenzwert gibt an, wie wahrscheinlich es ist, dass die Klassifizierung korrekt ist: Je höher der Konfidenzwert ist, desto wahrscheinlicher ist eine korrekte Artbestimmung. Aber auch bei einem hohen Konfidenzwert besteht immer die Möglichkeit eines Fehlers, so dass die Ergebnisse je nach der Qualität der Tonerkennungsmodelle vorsichtig interpretiert werden sollten.

**Beachten Sie, dass sich die Download-Anweisungen mit der Aktualisierung der Version häufig ändern. Wir empfehlen den Lesern, die aktuellen Installationsanweisungen sorgfältig zu befolgen.**

## BirdNET

BirdNET ist ein frei verfügbares Modell zur Klassifizierung von Vogelarten anhand von Audiodaten (Kahl et al. 2021). Sie können BirdNET-Modelle über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) ausführen, die Sie bei der Verarbeitung von Audiodaten ohne Programmierkenntnisse unterstützt. Bitte besuchen Sie [diesen Link](#) und folgen Sie den aktuellen Anweisungen zum Herunterladen.

Verwendung der GUI mit [Beispieldaten](#), basierend auf BirdNET-Analyzer Version 2.4:

- Wählen Sie nach dem Start der GUI die Registerkarte „Multiple files“.
- Wählen Sie das Verzeichnis, in dem die Audiodaten gespeichert sind, und geben Sie einen Ordner an, in dem Sie sie speichern möchten.
- **Inferenz-Einstellungen:** 1) *Minimum Confidence* (Minimale Konfidenz) ist der Schwellenwert, der bei jeder Artenbestimmung überschritten werden muss. Wir empfehlen eine Einstellung von 0,01, da

The screenshot displays the BirdNET-Analyzer GUI with the following sections and settings:

- Navigation:** Single file, Multiple files (selected), Train, Segments.
- Select directory (recursive):** Subpath and Length input fields.
- Select output directory:** Output directory input field with a note: "If not selected, the input directory will be used."
- Inference settings:**
  - Minimum Confidence: 0.5 (slider)
  - Sensitivity: 1 (slider)
  - Overlap: 0 (slider)
- Species selection:**
  - Species list: List of all possible species
  - Options: Custom species list, Species by location, Custom classifier, all species (selected)
- Result type:** Specifies output format. Options: Raven selection table, Audacity, R, CSV (selected).
- Batch size:** Number of samples to process at the same time. Value: 1.
- Threads:** Number of CPU threads. Value: 4.
- Locale:** Locale for the translated species common names. Value: EN.
- Buttons:** Analyze
- Table:** File | Execution

Sie später im CSV-Format ideale Schwellenwerte festlegen können. 2) *Sensitivity* (Empfindlichkeit) gibt die Rate der echten positiven Erkennungen an (Standardempfindlichkeit = 1). 3) *Overlap* (Überlappung) ist die Überlappung der Segmente von 0 bis 3 Sekunden (Standardüberlappung = 0).

- **Species selection (Artenauswahl):** Wenn Sie noch nicht mit BirdNET vertraut sind, wählen Sie „all species“.
- **Result type (Ergebnisformat):** Wählen Sie „CSV“.
- **Batch size & Threads:** Belassen Sie sie so wie sie sind.
- **Locale (Standort):** Wählen Sie die Sprache für die Trivialnamen der Vögel (EN für Englisch, DE für Deutsch)
- Klicken Sie auf „**Analyze**“

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für die BirdNET-Ausgabe im CSV-Format.

	A	B	C	D	E
1	Start (s)	End (s)	Scientific name	Common name	Confidence
2	0	3	<i>Atrichornis rufescens</i>	Rufous Scrub-bird	0.0777
3	0	3	<i>Modulatrix stictigula</i>	Spot-throat	0.0448
4	0	3	<i>Fimachus fastosus</i>	Black Sicklebill	0.0347

- **Start (s):** Beginn des Audiosegments in Sekunden
- **End (s):** Ende des Audiosegments in Sekunden
- **Scientific name (Wissenschaftlicher Name):** Ermittelte Arten mit wissenschaftlichem Namen
- **Common name (Trivialname):** Ermittelte Arten mit dem Trivialnamen
- **Confidence:** Konfidenzwert für die Identifizierung der Art im Bereich von 0 bis 1 (alle Identifikationen über der “Minimum Confidence” werden so aufgelistet )

## BatDetect2

BatDetect2 ist ein auf Deep Learning basierendes Modell zur Erkennung von Fledermausrufen und zur Klassifizierung von Fledermausarten in Audiodaten (Aodha et al. 2022). Das Modell ist frei verfügbar und wird für die Verwendung in einer Python-Umgebung in der Anaconda-Distribution empfohlen. Die Python-Version muss möglicherweise an das aktuellste BatDetect2-Paket angepasst werden. Das Modell wird durch die Eingabe von Befehlen in die Befehlszeile eines Terminals verwendet, was für die Leser\*innen schwieriger sein kann als das Herunterladen des BirdNET-Modells. Daher erklären wir, wie man BatDetect2 installiert (eine Anleitung finden Sie [hier](#)).

- Laden Sie die Anaconda-Distribution herunter und installieren Sie sie (den Installationsschritt finden Sie [hier](#)).
- Nach der Installation öffnen Sie die Anaconda-Eingabeaufforderung oder das Anaconda Powershell Prompt Terminal (suchen Sie im Windows-Startmenü nach Anaconda Prompt).
- Erstellen Sie eine neue Python-Umgebung, indem Sie den folgenden Befehl in die Befehlszeile des Terminals eingeben: `conda create -y -name batdetect2 python==3.xx` Mit diesem Befehl wird die Python-Version automatisch auf eine bestimmte Version gesetzt (z.B. `python==3.10`). Bitte wählen Sie die richtige Python-Version, die auf der [Website](#) vorgeschlagen wird.
- Um die Umgebung zu aktivieren, geben Sie folgenden Befehl ein: `conda activate batdetect2`.
- Nach der Aktivierung der Umgebung wird BatDetect2 mit folgendem Befehl installiert: `pip install batdetect2`

Verwendung von BatDetect2 mit [Beispieldaten](#)

- Öffnen Sie das Anaconda Prompt Terminal und aktivieren Sie die BatDetect2 Umgebung mit dem Befehl: `conda activate batdetect2`
- Geben Sie folgenden Befehl ein: `batdetect2 detect AUDIO_DIR ANN_DIR DET_THRESHOLD`

**AUDIO\_DIR:** Der Ordnerpfad, in dem sich die zu analysierenden Audioaufnahmen befinden.

**ANN\_DIR:** Der Ordner, in dem die Ergebnisausgabe gespeichert wird. Für jede Aufzeichnung wird die Ausgabe als .csv- und .json-Datei gespeichert.

**DET\_THRESHOLD:** Der Schwellenwert, ab dem die Fledermausrufe in der Ergebnistabelle angezeigt werden. Der Wert muss zwischen 0 und 1 liegen. Je niedriger der Wert, desto höher ist die Anzahl der erkannten Rufe.

*Beispiel:* batdetect2 detect C:\audiodata C:\audiodata\results 0.1

- Um weitere Parameter der Fledermausrufe zu erhalten, kann der Befehl `--spec_features` verwendet werden. Er wird an den oben erläuterten Befehl angehängt. Die Ergebnisse werden in einer weiteren Ausgabetable angezeigt.

*Beispiel:* batdetect2 detect C:\audiodata C:\audiodata\results 0.1 --spec\_features

- Für weitere Verwendungsmöglichkeiten (z.B. Training des Modells mit eigenen Audiodaten), lesen Sie [hier](#) mehr.

Die folgende Abbildung ist ein Beispiel für die Ausgabe als .csv

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	id	det_prob	start_time	end_time	high_freq	low_freq	class	class_prob
2	0	0.104	0.0015	0.0111	30414	18593	Nyctalus noctula	0.049
3	1	0.118	0.0155	0.0468	80281	68437	Rhinolophus ferrumequinum	0.117
4	2	0.672	0.3225	0.3361	24790	20312	Nyctalus noctula	0.48
5	3	0.504	0.7415	0.758	26328	21171	Nyctalus noctula	0.337
6	4	0.216	0.8835	0.8969	28889	23750	Nyctalus leisleri	0.094

- **id:** Nummer des Rufes
- **det\_prob:** Konfidenzwert der Ruferkennung
- **start\_time:** Beginn des Fledermausrufs in der Aufzeichnung in s
- **end\_time:** Ende des Fledermausrufs in der Aufzeichnung in s
- **high\_freq:** höchste Frequenz des Fledermausrufs in Hz
- **low\_freq:** niedrigste Frequenz des Fledermausrufs in Hz
- **class:** festgestellte Fledermausart mit wissenschaftlichem Namen
- **class\_prob:** Konfidenzwert der Artbestimmung

Die folgende Abbildung ist ein Beispiel für die Ausgabe des Befehls `--spec_features` als `.csv`

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	duration	low_freq_bb	high_freq_bb	bandwidth	max_power_bb	max_power	max_power_first	max_power_second	call_interval
2	0.00958	18.593	30.414	11.820	20.312	20.312	19.453	20.312	
3	0.03127	68.437	80.281	11.844	79.609	16.015	94.218	28.046	0.00442
4	0.01355	20.312	24.790	4.477	21.171	21.171	22.031	20.312	0.27573
5	0.01649	21.171	26.328	5.156	23.750	23.750	23.750	21.171	0.40545
6	0.01338	23.750	28.889	5.139	24.609	24.609	10.539	60.703	0.12551
7	0.01516	20.312	24.670	4.358	22.031	20.312	22.031	20.312	0.23562

- **duration**: Dauer des erkannten Fledermausrufs in s
- **low\_freq\_bb**: niedrigste Frequenz des Rufs in kHz
- **high\_freq\_bb**: höchste Frequenz des Rufs in kHz
- **bandwidth**: Differenz zwischen höchster und niedrigster Frequenz
- **max\_power\_bb**: Frequenz mit der maximalen Leistung des Rufs in kHz. Dieser Parameter wird zwischen der Start- und Endzeit und der höchsten und niedrigsten Frequenz des Rufs berechnet.
- **max\_power**: Frequenz mit der maximalen Leistung im Spektrogramm in kHz. Dieser Parameter wird zwischen dem Start- und Endzeitpunkt des Rufs und über alle Frequenzen hinweg berechnet.
- **max\_power\_first**: Frequenz mit der maximalen Leistung in der ersten Hälfte des Rufs in kHz
- **max\_power\_second**: Frequenz mit der maximalen Leistung in der zweiten Hälfte des Rufs in kHz
- **call\_interval**: Zeitspanne zwischen dem Ruf und dem vorherigen Ruf in s

# Wartung

Die Geräte sollten regelmäßig gewartet werden. Dazu gehören Versionsupdates der Firmware und ggf. Reparaturarbeiten an der Gerätehardware und an der Mikrofonabdeckung des Schutzgehäuses.

## Austausch der akustischen Membran des AudioMoth-Schutzgehäuses

Um die AudioMoths zu verwenden, müssen sie in ein wasserdichtes Gehäuse gesteckt werden. Die Gehäuse sind mit akustischen Membranen ausgestattet, die das Loch abdecken, in dem das Mikrofon liegt. Durch kaum vermeidbare Umstände, wie neugierige Insekten und Witterungseinflüsse, neigen die Membranen dazu, kaputt zu gehen. Daher ist es notwendig, die defekten elektronischen Membranen regelmäßig auszutauschen. Wir verwenden GORE Portable Electronic Vents (GAW 3345.09.4). Sie bieten eine noch höhere Leistung als die ursprünglich eingebauten Membranen.

Eine ausführliche Anleitung zum Kauf und zum Austausch der Membranen finden Sie auf dieser [Website](#). Die folgenden Schritte werden von dort übernommen.

Was zu tun ist:

- Es wird empfohlen, Handschuhe zu tragen.
- Entfernen Sie die defekte Membran mit einer Pinzette oder einem anderen kleinen Gegenstand, der geeignet ist, sie abzuschaben.
- Reinigen Sie die Oberfläche (z. B. mit Isopropylalkohol) und trocknen Sie sie.
- Nehmen Sie mit einer runden Pinzette eine neue Membran von der Unterlage und setzen Sie sie auf die INNENSEITE des AudioMoth-Gehäuses, um das Mikrofonloch abzudecken. Berühren Sie NICHT die Mitte der Membran, um sie nicht zu beschädigen.
- Vergewissern Sie sich, dass die Membran fest und gleichmäßig am Gehäuse befestigt ist. Suchen Sie daher nach einer Möglichkeit, die Membran anzudrücken, ohne den mittleren Bereich zu berühren.

## Regelmäßige Überprüfung der Akkuladung bei Nichtgebrauch

Auch wenn Sie die Akkus nicht benutzen, werden sie Tag für Tag entladen. Wenn die Akkuspannung zu niedrig ist, verschlechtert sich ihr Zustand. Daher wird häufig empfohlen, alle Akkus regelmäßig zu laden, auch wenn sie nicht im Einsatz sind.

- Wenn der Wert des Multimeters zu niedrig ist, müssen Sie den Akku entladen (wie man Akkus mit einem Multimeter testet, erfahren Sie [hier](#)). → Akkus können bis zu 1,4-1,5 V geladen werden und haben eine Spannung von etwa 1,0-1,2 V, wenn sie leer sind.

- Die empfohlene Häufigkeit des Aufladens bei Nichtgebrauch hängt von der Art des Akkus ab. Wenn Sie zum Beispiel einen Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH) haben, wird empfohlen, den Akku einmal alle 90 Tage aufzuladen (lesen Sie [hier](#)).
- Ein Lade-, Entlade- und Wiederaufladezyklus ist notwendig, um die Akkukapazität zu erhalten, den Zustand des Akkus zu überwachen, die Akkuleistung zu optimieren usw. (mehr dazu [hier](#)). Einige wiederaufladbare Batterien benötigen diesen Zyklus jedoch nicht, daher sollten Sie immer zuerst die Richtlinien und Empfehlungen des Herstellers beachten.



# Literaturverzeichnis

- Aodha, O. M., S. M. Balvanera, E. Damstra, M. Cooke, P. Eichinski, E. Browning, M. Barataud, K. Boughey, R. Coles, G. Giacomini, M. C. M. S. G, M. K. Obrist, S. Parsons, T. Sattler, and K. E. Jones. 2022, December 16. Towards a general approach for bat echolocation detection and classification. bioRxiv.
- Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Second edition. Routledge, New York.
- Fenton, M. B., and G. P. Bell. 1981. Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *Journal of Mammalogy* 62:233–243.
- Fenton, M. B., C. V. Portfors, I. L. Rautenbach, and J. M. Waterman. 1998. Compromises: sound frequencies used in echolocation by aerial-feeding bats. *Canadian Journal of Zoology* 76:1174–1182.
- Green, R. H. 1979. *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. John Wiley & Sons.
- Hill, A. P., P. Prince, J. L. Snaddon, C. P. Doncaster, and A. Rogers. 2019. AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX* 6.
- Kahl, S., C. M. Wood, M. Eibl, and H. Klinck. 2021. BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics* 61:101236.
- Mai, Y., and Z. Zhang. 2017. Statistical power analysis for comparing means with binary or count data based on analogous anova. Pages 381–393 *in* L. A. van der Ark, M. Wiberg, S. A. Culpepper, J. A. Douglas, and W.-C. Wang, editors. *Quantitative Psychology*. Springer International Publishing, Cham.
- Nyquist, H. 1928. Certain topics in telegraph transmission theory. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* 47:617–644.
- Piña-Covarrubias, E., A. P. Hill, P. Prince, J. L. Snaddon, A. Rogers, and C. P. Doncaster. 2019. Optimization of sensor deployment for acoustic detection and localization in terrestrial environments. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 5:180–192.
- Rhinehart, T. A. 2019. AudioMoth: a practical guide to the open-source ARU. GitHub repository: <https://github.com/rhine3/audiomoth-guide/blob/master/guide.md>
- Robinson, D.J. and M.J. Hall. 2002. Sound signalling in orthoptera. *Advances in Insect Physiology*. Elsevier; pp. 151–278.

Sueur, J. 2018. *Sound Analysis and Synthesis with R*. Springer.

Wood, C. M., and M. Z. Peery. 2022. What does 'occupancy' mean in passive acoustic surveys? *Ibis* 164:1295–1300.