

## Welche Samplerate ist für das Fledermausmonitoring erforderlich?

Im Handbuch zur **Praxis der akustischen Fledermauserfassung**, Kapitel 14.6.2 Samplerate (<https://www.amazon.de/Handbuch-akustischen-Fledermauserfassung-Guido-Gerding/dp/374697481X>) wird erwähnt, dass für eine gute Abbildung der Fledermausrufe die Abtastrate weit über der doppelten Signalfrequenz liegen sollte. Nach meinem Verständnis ist dies jedoch so nicht richtig (obwohl es sich hierbei tatsächlich um ein recht weit verbreitetes Missverständnis handelt).

Laut Abtasttheorem (siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem>) wird jedes beliebige bandbegrenzte Signal dessen maximale Signalfrequenz (auch nur knapp) unterhalb der halben Abtastrate liegt perfekt repräsentiert. Spielt man ein solches "knapp" abgetastetes Signal wieder ab (vorausgesetzt man verwendet ein ideales Rekonstruktionsfilter), ist es vom Original nicht zu unterscheiden. Es gibt also keinerlei Qualitätsverluste oder irgendwelche Unzuverlässigkeiten in diesem Zusammenhang.

Je nach verwendetem Aufnahmesystem kann es allerdings tatsächlich empfehlenswert sein, eine deutlich höhere Abtastrate zu wählen, sofern kein oder nur ein einfaches Anti-Aliasing-Filter mit geringer Flankensteilheit vorhanden ist. Dies ist z.B. bei den einfachen Datenerfassungsgeräten von National Instruments der Fall. Bei solchen (eigentlich ungeeigneten) Systemen kann es nämlich zu unerwünschten Spiegelungen von Signalfrequenzen (und auch von Rauschteilen) oberhalb der halben Abtastfrequenz in den Frequenzbereich unterhalb der halben Abtastfrequenz und auch zu unerwünschten Signalabschwächungen bei hohen Frequenzen kommen.

Das Avisoft-UltraSoundGate-System verwendet einen hochwertigen Sigma-Delta-AD-Wandler mit recht steiflankigem Tiefpassfilter. Deshalb ist hier auch eine Abtastrate von 250 kHz völlig ausreichend, um Fledermausrufe bis mindestens 110 kHz korrekt und ohne jegliche Qualitätsverluste aufzuzeichnen. Ähnlich verhält es sich mit den von einigen Fledermausgutachtern verwendeten 192 kHz USB-Audiointerfaces. Hier werden Fledermausrufe bis mindestens 80 kHz (das Antialiasing-Filter kann auch hier nicht ganz ideal sein) tatsächlich ganz zuverlässig aufgezeichnet.

Die Tabelle 14.1 in dem Handbuch gilt deshalb nicht für Systeme mit steilem Antialiasing-Filter wie das UltraSoundGate oder gängige USB-Audiointerfaces. Falls man lediglich eine "gut Abbildung" in der Oszillogrammdarstellung haben möchte, kann man die Abtastrate in jedem Fall auch immer noch nachträglich in der Analysesoftware beliebig erhöhen.

Vor diesen Hintergründen stellt eine Abtastrate von 500 kHz nach meinem Verständnis eigentlich immer eine Verschwendung von Ressourcen (Hardwarekosten, Stromverbrauch, Speicherbedarf und Analyseaufwand) dar.

Sie glauben mir nicht? Dann machen Sie einmal folgendes Experiment:

Nehmen Sie eine gute 500 kHz Aufnahme und reduzieren die Abtastrate nachträglich auf 300 (oder 250) kHz. Dies kann man z.B. in Avisoft-SASLab Lite über den Menüpunkt *Edit > Format > Sampling Frequency Conversion...* erledigen. Damit hat man nun eine Datei, die mehr oder weniger genauso aussieht als hätte man ursprünglich mit nur 300 kHz aufgenommen.

Nun erhöhen Sie die Abtastrate anschließend wieder auf 500 kHz. Bei dieser Prozedur gehen natürlich alle eventuell noch vorhandenen Signalanteile (inklusive Rauschen) oberhalb von 150 kHz verloren (was bei dem sehr häufig zum Einsatz kommenden Knowles FG Mikrofon aber eigentlich ausgeschlossen werden kann). Davon abgesehen sollte aber kein wesentlicher Unterschied zu der originalen 500 kHz Aufnahme feststellbar sein. Deshalb

kann es keine "Unzuverlässigkeiten" bei der reduzierten Abtastrate gegeben haben. Man kann dieses Experiment übrigens auch mit einem synthetischen Signal in SASLab Lite durchführen. Eventuell auftretende Abweichungen sind hier lediglich auf die nicht ganz fehlerfreie Abtastratenumwandlung zurückzuführen.

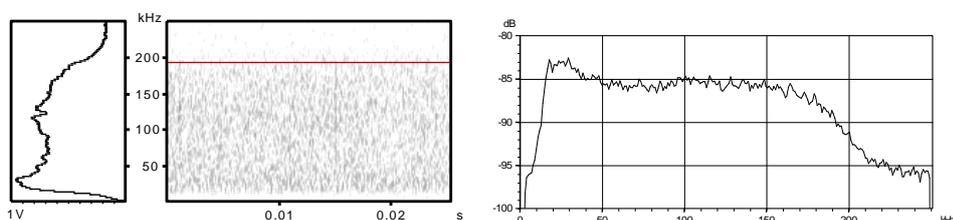
## Charakteristik der Anti-Aliasingfilter einiger akustischer Fledermausaufnahmesysteme

In jedem Aufnahmesystem befindet sich im Signalweg zwischen Mikrofon und Analog-Digital-Wandler ein Tiefpassfilter (Anti-Aliasingfilter), das die Aufgabe hat, Signalanteile (vor allem auch Rauschen) oberhalb der halben Abtastfrequenz zu unterdrücken, um so unerwünschte Unterabtastungen (Aliasing) zu verhindern (siehe auch [https://de.wikipedia.org/wiki/Antialiasing\\_\(Signalverarbeitung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Antialiasing_(Signalverarbeitung))). Die Eigenschaften dieses Filters (Flankensteilheit und Grenzfrequenz) variieren zwischen den verschiedenen Geräten mitunter recht stark.

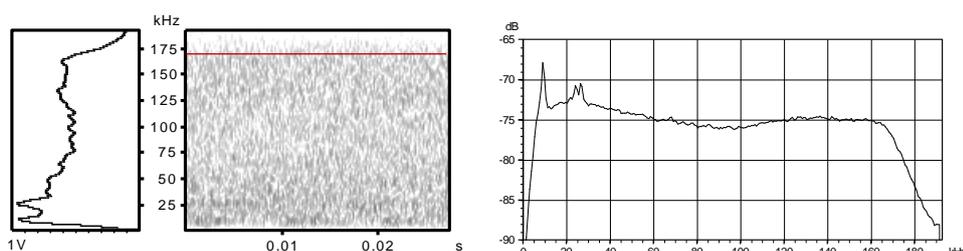
Die Grenzfrequenz des Anti-Aliasingfilters kann überschlägig anhand des Frequenzspektrums des Grundrauschens des Aufnahmesystems bestimmt werden. Die Grenzfrequenz ist dabei diejenige Frequenz, bei der der ansonsten relativ linear verlaufende Grundrauschpegel (es handelt sich hierbei jeweils mehr oder weniger um weißes thermisches Rauschen) des Mikrofons bzw. des Vorverstärkers um 3 dB abfällt. Unterhalb dieser Grenzfrequenz können Fledermausrufe ohne nennenswerte zusätzliche Dämpfung aufgezeichnet werden.

Die maximale Signalfrequenz der Fledermausrufe, die das Mikrofon noch aufzeichnen kann, liegt jedoch oft weit darunter, da die Empfindlichkeit der verwendeten Mikrofone (Knowles FG bei den meisten Geräten) bei hohen Frequenzen deutlich abfällt. Mit zunehmender Entfernung zwischen Fledermaus und Mikrofon nimmt dieser Effekt infolge der geometrischen und atmosphärischen Dämpfung noch weiter zu.

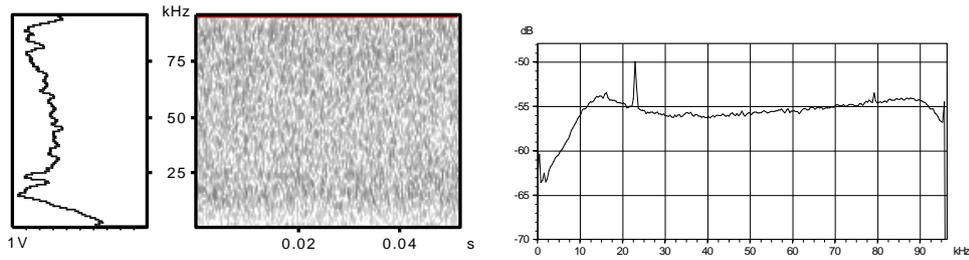
### Grenzfrequenzen der Anti-Aliasingfilter verschiedener Aufnahmesysteme:



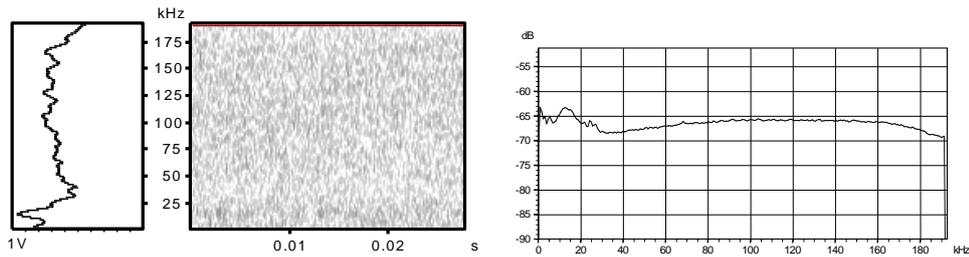
Batcorder: ca. 185 kHz bei der (festen) Abtastrate von 500 kHz (0,37 x Samplerate)



Petterson M500-384: ca. 170 kHz bei der (festen) Abtastrate von 384 kHz (0,44 x Samplerate)

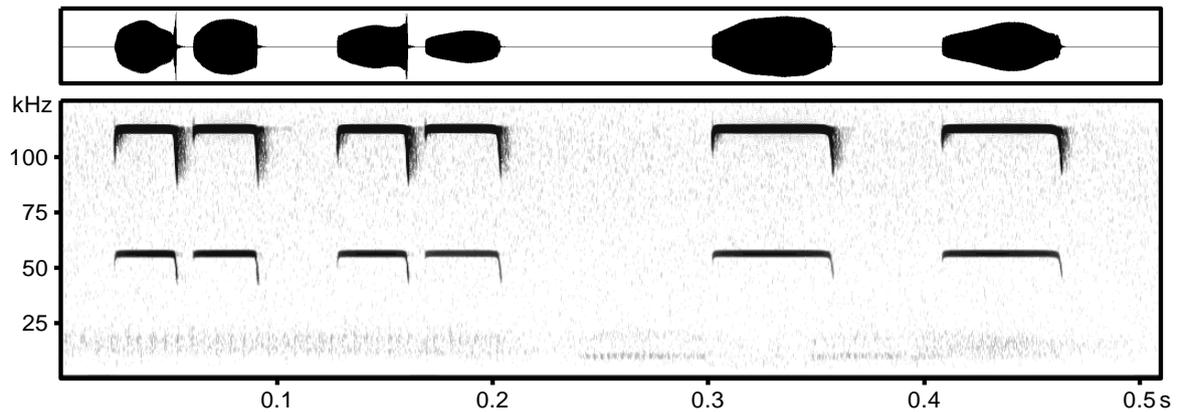


USB-Audiointerface Roland Quad-Capture mit Avisoft Bioacoustics / Knowles FG Mikrofon: 96 kHz bei einer Abtastrate von 192 kHz (0,5 x Samplerate)



Avisoft-UltraSoundGate 116Unb: 192 kHz bei einer Abtastrate von 384 kHz (0,5 x Samplerate)

Die folgende Aufnahme der Ortungsrufe einer Kleinen Hufeisennase mit einem Avisoft-UltraSoundGate 116Hme und CM16/CMPA Kondensatormikrofon bei der für diese Art eigentlich etwas zu gering eingestellten Abtastrate von 250 kHz zeigt, dass unter diesen Umständen dennoch eine hervorragende Aufnahmequalität möglich ist:



WAV-Datei: [http://www.avisoft.com/sounds/Rhinolophus\\_hipposideros\\_in\\_the\\_hand\\_after\\_catching.wav](http://www.avisoft.com/sounds/Rhinolophus_hipposideros_in_the_hand_after_catching.wav) (Aufnahme von Matthias Göttsche, Stocksee)

Raimund Specht, Avisoft Bioacoustics e.K.

Glienicke/Nordbahn, 4. August 2019