

Akustische Mustererkennung von Tierstimmen und deren Nutzung für Monitoringaufgaben im Interesse des Naturschutzes

Karl-Heinz Frommolt

Museum für Naturkunde, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung
Invalidenstr. 43
10115 Berlin, Germany
karl-heinz.frommolt@mfn-berlin.de

Abstract: Methoden der akustischen Mustererkennung haben ein großes Potential für die Entwicklung von automatisierten Verfahren zur Erfassung von lautgebenden Tieren. Im Beitrag werden Möglichkeiten eines Einsatzes bioakustischer Methoden für das Monitoring wildlebender Tiere aufgezeigt. Ziel des Monitorings ist es, Populationstrends in Tierbeständen aufzuzeigen. Entsprechend diesem Ziel muss ein adäquates Design für die Erstellung von Tonaufzeichnungen gewählt werden. Es werden robuste Algorithmen für die akustische Signalerkennung benötigt, die eine sichere Arterkennung ermöglichen. Ungeachtet der immensen Fortschritte, die auf dem Gebiet der Signalerkennung in den letzten Jahren erzielt wurden, ist die automatische Erkennung von Lautäußerungen von Tieren auf Grund deren hoher Variabilität und der meist sehr komplexen Hintergrundgeräuschen eine große Herausforderung für Informatiker und Bioakustiker. Eine der größten Herausforderungen ist die Quantifizierung der Beobachtungsergebnisse, also wie man aus Audioaufzeichnungen Rückschlüsse auf die Anzahl vokalisierender Individuen ziehen kann. Lösungsansätze dafür werden aufgezeigt.

1 Einleitung

Die Entwicklung der digitalen Tonaufzeichnungs- und Analysetechnik in den letzten Jahren eröffnet zahlreiche Möglichkeiten für den Einsatz akustischer Methoden für naturschutzrelevante Fragestellungen, insbesondere für ein Monitoring lautaktiver Tierarten. Ein naturschutzorientiertes Monitoring ist erforderlich, um Veränderungen in der Umwelt zu erkennen und um dann entsprechende Maßnahmen einleiten zu können [St03]. Ein wesentliches Element ist dabei die Erfassung von Populationstrends von Tierarten, d.h. Veränderungen von Tierbeständen über die Zeit. Ein sehr guter Indikator für den Zustand der Umwelt sind u.a. Veränderungen in der Vogelwelt. Auf der Grundlage langjähriger standardisierter Erfassungen konnten hier aussagekräftige Ergebnisse gewonnen werden, wie z.B. ein genereller Rückgang von Brutvögeln in der Agrarlandschaft und Bestandsschwankungen bei Waldvögeln [GS10]. Insbesondere

beim Monitoring von Brutvögeln spielen Lautäußerungen als eine Form der Territorialanzeige eine entscheidende Rolle [GGD04]. In der Regel werden dabei singende Vögel gezählt oder kartiert. Die in den USA am häufigsten genutzte Methode ist die Punkt-Stopp-Zählung, wo der Erfasser entlang einer Route an vorbestimmten Orten für die Dauer von drei Minuten alle Vögel registriert, die er von diesem Punkt aus sieht bzw. hört [SL11]. In Europa werden jetzt meistens Methoden der Linienkartierungen eingesetzt, wo alle Vögel entlang einer Marschroute erfasst und auf einer Karte festgehalten werden [Fr07, Mi05]. Damit ist das Brutvogelmonitoring im Wesentlichen ein akustisches Monitoring, nur das die Analyse direkt durch den Beobachter vorgenommen wird. Der Einsatz von Tontechnik zur Bestandserfassung bietet sich hier geradezu an, da damit fast alle Arten eingeschlossen werden. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Tierarten, die fast ausschließlich akustisch erfasst werden können. Dazu zählen nachtaktive Vogelarten, die auf der Grundlage ihrer Ultraschallortungslaute detektierbaren Fledermäuse, aber auch Meeressäuger. Der Einsatz von akustischen Methoden und Algorithmen der akustischen Signalanalyse im Interesse eines naturschutzorientierten Monitorings sollte sich dabei stets an der jeweiligen Zielstellung orientieren. Dies bedeutet, dass neben der Erfassung des Artenspektrums auch quantitative Angaben zu den einzelnen Arten und nach Möglichkeit auch aussagekräftige Verteilungsmuster gewonnen werden sollten. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse eines reinen bioakustischen Monitorings mit konventionellen Erfassungsmethoden sollte stets gewährleistet sein. Im Folgenden soll dargestellt werden, wie solch ein bioakustisches Monitoring realisiert werden kann und welche Anforderungen dabei an Algorithmen der akustischen Mustererkennung gestellt werden. Dabei gehen insbesondere auch eigene praktische Erfahrung beim Einsatz bioakustischer Methoden im Rahmen des Monitorings von Brutvögeln in einem Moor-Renaturierungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern ein.

2 Aufzeichnungstechnik für ein akustisches Monitoring

Die Grundlage für eine akustische Bestanderfassung bilden standardisierte Tonaufzeichnungstechniken. Digitale Tonaufzeichnungstechnik ermöglicht es, die Geräuschkulisse über längere Zeiträume kontinuierlich oder in bestimmten Intervallen aufzuzeichnen. Für Fragestellungen eines bioakustischen Monitorings kommen dabei sowohl speziell für diese Zwecke konstruierte autonome Aufzeichnungseinheiten als auch nutzerspezifische Lösungen, die in der Regel auf Tontechnik aus dem Consumer-Bereich basieren, zum Einsatz [FM12]. Die Tonaufzeichnung muss dabei der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst sein. So sind Ultraschallmikrofone für die Aufzeichnung von Fledermausrufen nicht für die Aufzeichnung von Vogelgesang geeignet und umgekehrt erfasst die für den für uns hörbaren Bereich konzipierte Aufzeichnungstechnik nicht den Ultraschallbereich. Einen wesentlichen Einfluss auf dasfassungsergebnis haben Empfindlichkeit und Richtcharakteristik der eingesetzten Mikrofone. Bei Einsatz von hochempfindlichen Mikrofonen bzw. von Richtmikrofonen, die schrittweise um 360° gedreht wurden, konnten beim Abhören der Aufnahmen sogar mehr Arten festgestellt werden, als der Beobachter vor Ort verzeichnet hatte [Ho02, HQ00]. Wir präferieren für Monitoringzwecke Vierkanal-Aufzeichnungen mit Mikrofonen mit Nierencharakteristik [FTK08]. Dabei wird durch effektive Ausblendung

rückwärtiger Schallereignisse das Signal-Rausch-Verhältnis zugunsten des Nutzsignals verbessert. Hinzu kommt, dass bei einer visuellen Inspektion von Spektrogrammen der Mehrkanalaufzeichnungen sofort deutlich wird, aus welcher Hauptrichtung der Vogel oder ein anderes Tier zu hören ist.

Ein begrenzender Faktor für den autonomen Einsatz ist oft die Stromversorgung der Aufzeichnungstechnik. Diese kann aber meist mit Hilfe von Solarmodulen realisiert werden (Abb. 1). Ein anderer Weg ist, den Stromverbrauch der Aufzeichnungshardware zu optimieren. Bei dem von der Firma Wildlife Acoustics vertriebenen Songmeter wird dies z.B. durch Einsatz dynamischer Mikrofone realisiert, wobei ein etwas schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis in Kauf genommen wird [WA11].



Abbildung 1: Solargespeiste autonome Aufzeichnungseinheit zur Langzeiterfassung von Tierstimmen. Die Tonaufzeichnungen erfolgen im Rahmen eines Langzeitmonitorings einer Moor-Renaturierungsfläche in Mecklenburg-Vorpommern. Die Aufzeichnungen erfolgen zeitgetriggert mit einem Mehrkanalrecorder mit vier Mikrofonen mit Nierencharakteristik (Foto K.-H. Frommolt).

3 Mustererkennung

Die Auswertung der akustischen Aufzeichnungen erfolgt oft noch durch Abhören durch erfahrene Spezialisten und/oder durch visuelle Inspektion von Spektrogrammen. Erst der Einsatz von Mustererkennungsalgorithmen zur Detektion und Artbestimmung von Rufen und Gesängen ermöglicht eine effektive Auswertung von Langzeitaufnahmen. Am weitesten fortgeschritten ist die Methodik einer automatisierten Artbestimmung auf der Grundlage akustischer Parameter für Fledermäuse [OBF04, Wa12]. Fledermausrufe eignen sich für eine Mustererkennung sehr gut, da ihre Ultraschall-Ortungsrufe sehr laut sind und in einem Frequenzbereich liegen, der kaum von anderen Arten genutzt wird (Abb. 2). Mit den entwickelten Arterkennungsalgorithmen können mit hoher Sicherheit die meisten europäischen Arten bestimmt werden.

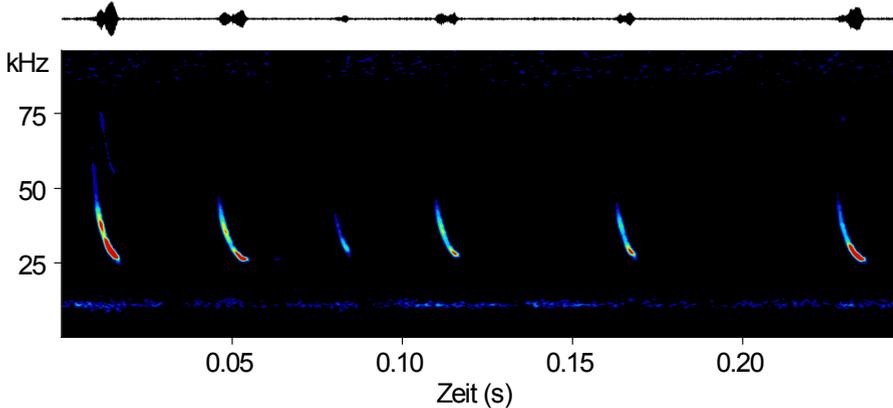


Abbildung 2: Spektrogramm von Ortungslauten einer Breitflügelfledermaus. Im Frequenzbereich der Fledermäuse sind hier keine anderen Schallereignisse zu beobachten.

Die Erkennung von Vogelrufen stellt da eine größere Herausforderung dar. Hier geht es in der Regel nicht um die Erkennung einer Art auf einer sauberen Aufnahme, sondern darum, eine Art aus einem Stimmengewirr herauszufinden. Abb. 3 zeigt am Beispiel des Tüpfelsumpfhuhnes, wie charakteristische Rufe auf der Grundlage einer Spektrogramm-Korrelation selbst auf Aufnahmen mit starkem akustischem Hintergrund sicher erkannt werden können.

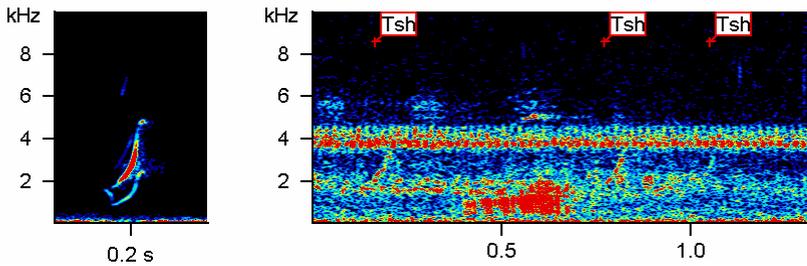


Abbildung 3: Mustererkennung unter realistischen akustischen Bedingungen. Links: Spektrogramm eines Rufes eines Tüpfelsumpfhuhnes. Rechts: Ausschnitt aus einer Langzeitaufnahme mit detektierten Rufen des Tüpfelsumpfhuhnes (Tsh). Die Detektion erfolgte auf der Grundlage der in Avisoft SASLAB Pro implementierten Spektrogramm-Korrelation. Als Vergleichsmuster wurden qualitativ hochwertige Freilandaufzeichnungen genutzt.

Es ist nicht zu erwarten, dass Erkennungsalgorithmen entwickelt werden können, die eine Art mit absoluter Sicherheit bestimmen können. Wir werden stets einen gewissen Anteil von Fehlbestimmungen haben, was jedoch auch beim Abhören durch erfahrene Spezialisten auftritt. Bei der Entwicklung und beim Einsatz von akustischen Mustererkennungsalgorithmen sollte großes Augenmerk auf die Fehlerquote gerichtet werden. Für die meisten Aufgaben eines bioakustischen Monitorings ist eine sichere Artbestimmung vorrangig, d.h. der Anteil der „false positive detections“ sollte möglichst gering sein. Da davon auszugehen ist, dass ein revieranzeigender Vogel, seine Gesänge wiederholt äußert, kann in Kauf genommen werden, dass nicht alle Vokalisationen der Art detektiert werden. Wenn es jedoch darum geht, eine seltene Art nachzuweisen, wird man eher einen Algorithmus verwenden, bei dem die Anzahl „false negative detections“, also die nicht erkannten Rufe möglichst gering ist. Ein gutes Beispiel hierfür ist die systematische Suche nach dem wahrscheinlich ausgestorbenen Elfenbeinspecht in den USA [Hi06, SM09]. Die Mustererkennung liefert dann potentielle Kandidaten und durch visuelle Kontrolle der Spektrogramme und Abhören der Aufnahmen kann dann endgültige Klarheit verschafft werden.

Es gibt mittlerweile eine Reihe von Software-Paketen mit implementierter Mustererkennung, die entweder auf statischen Mustern bzw. Parametern aufbauen oder dynamisch sind und durch Lernprozesse die Parameter für die Mustererkennung dynamisch anpassen. Für Monitoringaufgaben erscheinen speziell für einzelne Arten angepasste Algorithmen generellen Arterkennungsalgorithmen hinsichtlich der Trennschärfe überlegen [Ba10, To12].

Eine alternative Herangehensweise zur Beschreibung der biologischen Diversität ist die Berechnung von akustischen Diversitäts-Indizes [Su08, Pi11]. Diese Indizes beruhen entweder auf der Berechnung der Entropie in einer aufgezeichneten Lautsequenz oder auf systematischen Änderungen in bestimmten Frequenzbändern. Sie sind sehr gut geeignet, um schnell Veränderungen in der umgebenden Geräuschkulisse zu erkennen, erscheinen aber für eine kausale Analyse weniger geeignet.

4 Erfassung von Bestandszahlen

Eine der größten Herausforderungen an ein bioakustisches Monitoring ist die Erhebung von quantitativen Angaben. Ein naheliegender Ansatz, wäre die Abschätzung von Bestandszahlen auf der Grundlage der Anzahl der Rufe und Gesänge. Dies wurde insbesondere zur Untersuchung des Migrationsgeschehens von Vögeln auf der Grundlage von Flugrufen genutzt [FR07, Hü12]. Die Rufaktivität wird hier als Maß der Intensität des nächtlichen Zuggeschehens genommen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass damit nicht unmittelbar Rückschlüsse auf die Anzahl der durchziehenden Vögel gezogen werden können, sondern dass die Rufaktivität auch stark von Witterungsbedingungen, insbesondere von Sichtverhältnissen, beeinflusst wird [HH12]. Bei einem Methodenvergleich zur Erfassung von Singvögeln lieferte eine Abschätzung der Bestandsdichte auf der Grundlage der Anzahl von aufgezeichneten Rufen bzw. Gesangsstrophen unzuverlässigere Ergebnisse als konventionelle Erfassungsmethoden [B06]. Ein weiterer, mathematisch aufwändigerer Lösungsansatz ist eine Bestandsdichtenschätzung auf der Grundlage der Aufzeichnungen mehrerer akustischer Sensoren [EDB09]. Dieses Verfahren ist angelehnt an die Bestimmung von Populationsdichten von Kleinsäugetern mit Hilfe der Fang-Wiederfang-Methode.

Im Folgenden soll am Beispiel der Erfassung von Tüpfelsumpfhühnern eine Herangehensweise beschrieben werden, die es erlaubt auf der Grundlage von Tonaufzeichnungen unmittelbar Rückschlüsse auf die Anzahl rufender Tiere zu ziehen. Grundlage dafür sind synchronisierte Vierkanal-Aufzeichnungen an je vier Aufnahmeorten (Abb. 4). Auf der Grundlage der bereits beschriebenen Mustererkennung mittels Spektrogramm-Korrelation kann das zeitliche Verteilungsmuster der Rufaktivität an den jeweiligen Aufnahmeorten bestimmt werden.

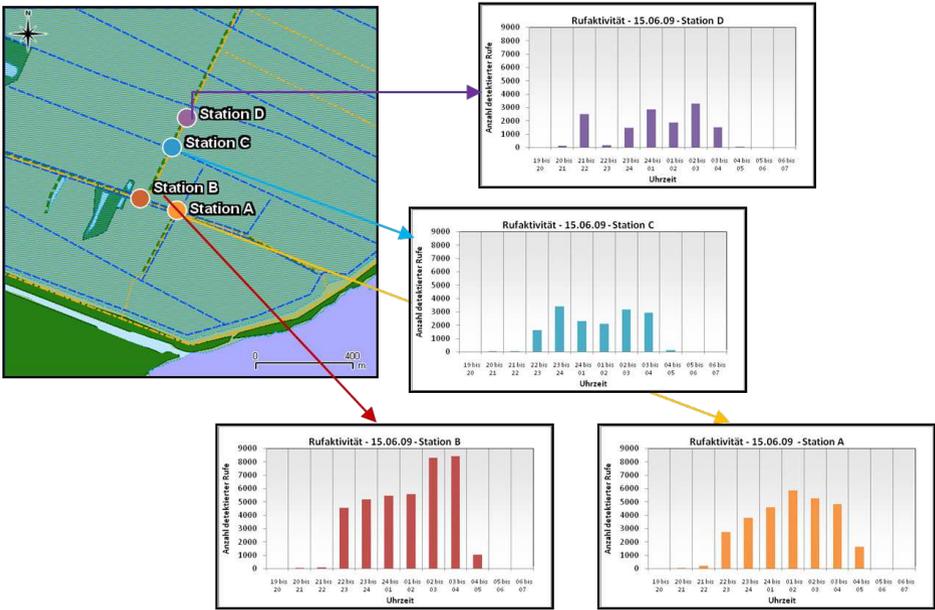


Abbildung 4: Nächtliche Rufaktivität des Tüpfelsumpfhuhnes in einer Moor-Renaturierungsfläche ermittelt auf der Grundlage von Mustererkennungsalgorithmen. Die ungleiche Verteilung an vier verschiedenen Standorten deutet schon darauf hin, dass es sich um unterschiedliche Tiere handeln sollte.

Anschließend wird ein Zeitabschnitt näher betrachtet, in dem an allen vier Aufnahmeorten eine hohe Rufaktivität zu verzeichnen war. In unserem Fall wurden Zeitabschnitte von einer Dauer von lediglich 20 Sekunden gewählt, wodurch die Wahrscheinlichkeit des Ortswechsels eines rufenden Tieres sehr gering war. Im nächsten Schritt wurden durch visuellen Vergleich der Spektrogramme der Vierkanalaufzeichnungen die Rufe einzelnen Tieren zugeordnet (Abb. 5). Die Grundlage dafür waren die durch unterschiedliche Schalleinfallrichtung bedingten unterschiedlichen Intensitäten der Rufe auf den vier Audiospuren, akustische Parameter der Rufe und die Rufabfolge. Auf der Grundlage des Abgleichs der synchronisierten Tonaufzeichnungen an vier verschiedenen Aufnahmeorten konnte abschließend auf der Grundlage der zeitlichen Muster der Rufabfolgen bestimmt werden, ob einzelne Tiere gleichzeitig an unterschiedlichen Aufnahmeorten aufgezeichnet wurden (Abb. 6). Bisher konnte die Methodik nur durch eine sehr zeitaufwändige visuelle Inspektion von Spektrogrammen realisiert werden. Die Optimierung durch Mustererkennungsalgorithmen ist unbedingt anzustreben.

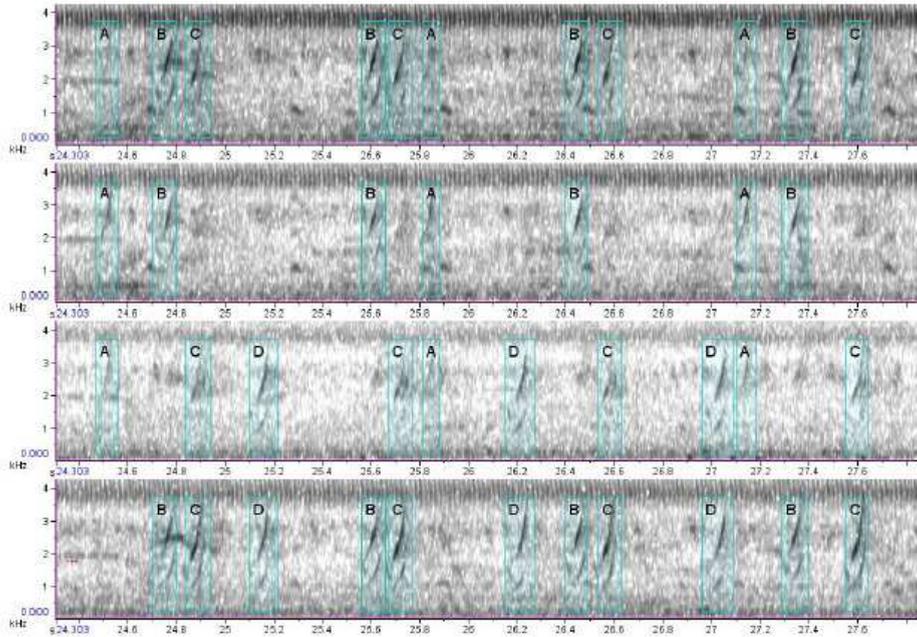


Abbildung 5: Spektrogramm einer Vierkanalaufzeichnung mit Rufen von Tüpfelsumpfhühnern. Auf der Grundlage von akustischen Parametern, der Verteilung der Energie auf den vier Kanälen und der zeitlichen Abfolge lassen sich einzelne Individuen (A bis D) unterscheiden.

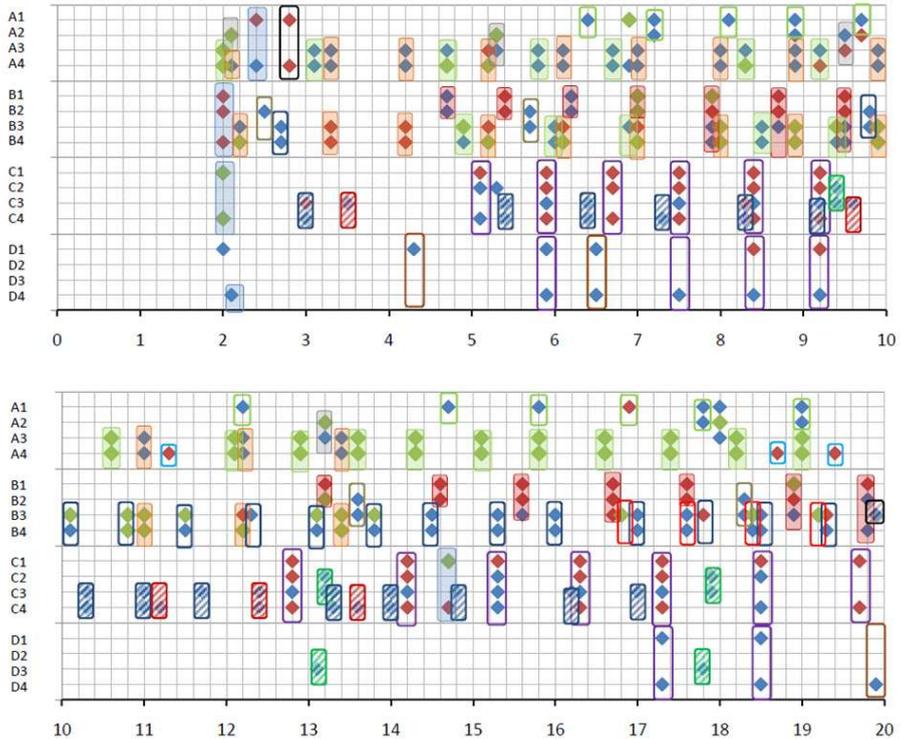


Abbildung 6: Versuch der Ermittlung der Anzahl rufender Individuen des Tüpfelsumpfhuhnes auf der Grundlage des Vergleichs von synchronisierten Vierkanalaufzeichnungen von vier verschiedenen Aufnahmeorten. Die Unterscheidung erfolgte durch Vergleich der Zeitmuster der Rufreihen an verschiedenen Aufnahmeorten. Insgesamt wurden dadurch für eine Fläche von ca. 50 ha 20 Tiere detektiert.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der akustischen Ortung einzelner Tiere mittels Hyperbelfunktion auf der Grundlage der Laufzeitunterschiede des akustischen Signales an unterschiedlichen Aufzeichnungsorten [B111, WTM03]. Voraussetzung dafür sind wiederum synchronisierte Langzeitaufzeichnungen an zumindest drei unterschiedlichen Standorten. Auch hier kann die Mustererkennung genutzt werden, um effektiv aus langen Tonaufzeichnungen für die Auswertung relevante Bereiche zu finden. Dies wären Abschnitte mit hoher Rufaktivität und möglichst wenig Nebengeräuschen. Eine kontinuierliche Bestandserfassung auf der Basis der akustischen Ortung wurde von uns für die Rohrdommel realisiert [FT10]. Dank der hohen Reichweite des niederfrequenten lauten Rufes konnten Tiere bis auf eine Entfernung von 2 km lokalisiert werden. Durch Auswahl eines kleinen Zeitfensters für die Auswertung wurde ein Ortswechsel der Tiere während der Erfassung ausgeschlossen. Auf diesem Wege kann zumindest die Mindestanzahl revieranzeigender Tiere ermittelt werden.

5 Schlussfolgerungen

Algorithmen der akustischen Mustererkennung können einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von automatisierten Methoden eines auf der Rufaktivität beruhenden Monitorings von Tierarten im Interesse des Naturschutzes leisten. Abgesehen von dem akustischen Artnachweis im Rahmen von Erfassungen von Fledermäusen, der Detektion von Flugrufen migrierender Vogelarten und bei der Erfassung von Meeressäugern findet die Methodik für praktische Belange bisher kaum Anwendung. Die Ursache dafür ist in erster Linie darin zu suchen, dass die Methodik noch zu zeitaufwendig ist und nur von wenigen Spezialisten realisiert werden kann. Um die Methodik in breitem Umfang zu nutzen ist es erforderlich, für eine Vielzahl von Arten sichere Erkennungsalgorithmen zu entwickeln und diese offenzulegen. Die Grundlage dafür sollte eine Datenbank von Referenzaufnahmen sein, wie sie gegenwärtig am Museum für Naturkunde Berlin entwickelt wird (www.tierstimmenarchiv.de/RefSys). Bisher sind wir noch weit davon entfernt, ein Erkennungssystem zu haben, das alle lautaktiven Tierarten eines Gebietes mit Sicherheit erkennt.

Großer Bedarf besteht noch in der Entwicklung von Methoden der Quantifizierung. Voraussetzung dafür ist zunächst, dass die akustische Erfassung mit einem dafür geeigneten Mikrofonaufbau entweder über Sensornetzwerke oder über synchronisierte Audiorecorder erfolgt. Hier besteht noch hoher Forschungsbedarf sowohl in Bezug auf die Entwicklung geeigneter Aufzeichnungsprotokolle als auch in Bezug auf effektive Algorithmen der Auswertung. Es ist zu erwarten, dass hier tierartspezifische Ansätze zu entwickeln sind. Es sollte nicht vergessen werden, dass eine qualitativ gute Aufzeichnung eine wesentliche Voraussetzung für eine sichere Signalerkennung ist. Je nach Tierart werden die Abstände der Sensoren zu einander, der Frequenzbereich der Aufzeichnungen und das Zeitraster für eine akustische Erfassung unterschiedlich sein. Die Entwicklung von effektiven Methoden für ein bioakustisches Monitoring im Interesse des Naturschutzes kann nur in enger Zusammenarbeit von Informatikern und Biologen erfolgen.

Literaturverzeichnis

- [B06] Buckland, S.T.: Point-transect surveys for songbirds: robust methodologies. *The Auk*, 2006, Vol. 123, 345-357.
- [Ba10] Bardeli, R. et al.: Detecting bird sounds in a complex acoustic environment and application to bioacoustic monitoring. *Pattern Recognition Letters*, 2010, Vol. 31, 1524-1534.
- [Bl11] Blumstein, D. T. et al.: Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus. *Journal of Applied Ecology*, 2011, Vol. 48, 758-767.
- [EDB09] Efford, M.G.; Dawson, D.K.; Borchers, D.L.: Population density estimated from locations of individuals on a passive detector array. *Ecology*, 2009, Vol. 90, pp. 2676-2682.

- [FM12] Fristrup, K.M.; Mennit, D.: Bioacoustical monitoring in terrestrial environments. *Acoustics Today* 8, July 2012, 16-24.
- [Fr07] Freeman, S.N. et al.: Modelling population changes using data from different surveys: the Common Bird Census and the Breeding Bird Survey. *Bird Study*, 2007, Vol. 54, pp. 61-72.
- [FR07] Farnsworth, A.; Russel, R.W.: Monitoring flight calls of migrating birds from oil platform in the northern Gulf of Mexico. *Journal of Field Ornithology*, 2007, Vol. 78, pp. 279-289.
- [FTK08] Frommolt, K.-H.; Tauchert, K.-H.; Koch, M.: Advantages and disadvantages of acoustic monitoring of birds – realistic scenarios for automated bioacoustic monitoring in a densely populated region. In (Frommolt, K.-H., et al., eds.): *Computational bioacoustics for assessing biodiversity. Proceedings of the international expert meeting on IT-based detection of bioacoustical patterns, December 7th until December 10th, 2007 at the International Academy for Nature Conservation (INA), Isle of Vilm, Germany, BfN-Skripten*, 2008, Vol. 234, pp. 83-92.
- [FT10] Frommolt, K.-H.; Tauchert, K.-H.: *Bioakustisches Monitoring von Rallen und Dommeln auf einer Renaturierungsfläche*. Vogelwarte, 2010, Bd. 48, S. 383-384.
- [GGD04] Gregory, R.D.; Gibbons, D.W.; Donald, P.F.: Bird census and survey techniques. In (Sutherland, W. J., et al., Eds.): *Bird ecology and conservation: a handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford, 2004, pp. 17-56.
- [GS10] Gregory, R.D.; van Strien, A.: Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measure of environmental health. *Ornithological Science*, 2010, Vol. 9, pp. 3-22.
- [HH12] Hüpopp, O.; Hilgerloh, G.: Flight call rates of migrating thrushes: effects of wind conditions, humidity and time of day at an illuminated offshore platform. *Journal of Avian Biology*, 2012, Vol 43, 85-90.
- [Hi06] Hill, G. E. et al.: Evidence suggesting that Ivory-billed Woodpeckers (*Campephilus principalis*) exist in Florida. *Avian Conservation and Ecology*, 2006, Vol. 1.
- [Ho02] Hobson, K.A. et al.: Acoustic surveys of bird using electronic recordings: new potential from an omnidirectional microphone system. *Wildlife Society Bulletin*, 2002, Vol.30, pp. 709-720.
- [Hü12] Hüpopp, K. et al.: Jahres- und tageszeitliche Phänologie der Vogelrufaktivität über der Deutschen Bucht. *Vogelwarte*, 2012, Bd. 50, S. 87-108.
- [HQ00] Haselmayer, J.; Quinn, J.S.: A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian southeast Peru. *Condor*, 2000, Vol. 102, pp. 887-893.
- [Mi05] Mitschke, A. et al.: *Das neue Brutvogelmonitoring in der Normallandschaft Deutschlands - Untersuchungsgebiete, Erfassungsmethode und erste Ergebnisse*. Vogelwelt, 2005, Bd. 126, S. 127-140.
- [OBF04] Obrist, M.K.; Boesch, R.; Flückiger, P.F.: Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergetic pattern recognition approach. *Mammalia*, 2004, Vol. 68, pp. 307-322.
- [Pi11] Pieretti, N. et al.: A new methodology to infer the singing activity of an avian community: the Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 2011, Vol. 11, pp. 868-873.
- [St03] Stickroth, H. et al.: *Konzept für ein naturschutzorientiertes Tierartenmonitoring - am Beispiel der Vogelfauna*. BfN, Bonn, 2003.
- [SL11] Sauer, J. R., Link, W. A.: Analysis of the North American Breeding Bird Survey using hierarchical models. *The Auk*, 2011, Vol. 128, pp. 87-98.
- [SM09] Swiston, K.A., Mennill, D.J.: Comparison of manual and automated methods for identifying target sounds in audio recordings of Pileated, Pale-pilled, and putative Ivory-billed woodpeckers. *Journal of Field Ornithology*, 2009, Vol. 80, 42-50.
- [Su08] Sueur, J. et al.: Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal." *PLoS ONE*, 2008, Vol 12, pp. 1-9.

- [To12] Towsey, M. et al.: A toolbox for animal call recognition. *Bioacoustics*, 2012, Vol. 21, 107-125.
- [Wa12] Walters, C.L et al.: A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 2012, Vol. 49, pp. 1064-1074.
- [WA11] Wildlife Acoustics Inc.: Song Meter User Manual. Model SM2+. Available at <http://www.wildlifeacoustics.com/images/documentation/SM2plus1.pdf>.
- [WTM03] Wahlberg, M.; Tougaard, J.; Møhl, B.: Localising bitterns *Botaurus stellaris* with an array of non-linked microphones. *Bioacoustics*, 2003, Vol. 13, 233-245.