

# Die automatische Rufanalyse mit dem batcorder-System

*Erklärungen des Verfahrens der automatischen Fledermausruf-Identifikation und Hinweise zur Interpretation und Überprüfung der Ergebnisse - Ulrich Marckmann, Dr. Volker Runkel*

*Version 1.01 (August 2010)*

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Einführung</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.1. Möglichkeiten und Probleme der akustischen Artanalyse</b> | <b>2</b>  |
| <b>2. Das Verfahren der automatischen Rufanalyse</b>              | <b>4</b>  |
| <b>2.1. Die Statistik und ihre Kennwerte</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>3. Möglichkeiten der manuellen Nachbestimmung</b>              | <b>11</b> |
| <b>3.1. Beurteilung Artenspektrums und der Häufigkeiten</b>       | <b>12</b> |
| <b>3.2. Zeitliche Abfolge der Sequenzen</b>                       | <b>13</b> |
| <b>3.3. Genauere Überprüfung einzelner Sequenzen</b>              | <b>14</b> |
| <b>4. Zusammenfassende Empfehlungen für die Überprüfung</b>       | <b>24</b> |
| <b>4.1. Bekannte Fehlerquellen</b>                                | <b>25</b> |
| <b>5. Literatur</b>   | <b>26</b> |

# 1. Einführung

Die automatische Aufnahme und Artanalyse von Ortungslauten von Fledermäusen mit dem batcorder-System ist ein neues Werkzeug. Seine Stärken liegen darin, dass sehr schnell quantitative und qualitative Daten gesammelt und ausgewertet werden können. Hierdurch wird die vergleichende Untersuchung der Raumnutzung durch Fledermäuse erst möglich. Als neuartiges System verlangt es jedoch auch eine differenzierte Auseinandersetzung mit dem Verfahren und den Möglichkeiten, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Methoden.

Im Gegensatz zu bisherigen akustischen Analyse-Werkzeugen werden Rufe automatisch gefunden, vermessen und mit statistischen Verfahren Arten zugeordnet. Da es sich um eine *black-box* Lösung handelt, stellt sich die Frage nach der Verlässlichkeit der Analyse und nach Kontrollmöglichkeiten für die ermittelten Daten. Durch die großen Datenmengen, die im Rahmen der automatischen Erfassung und Analyse gewonnen werden, muss die Überprüfung und Interpretation solcher Daten angepasst an die Fragestellung erfolgen.

Der vorliegende Text gibt Hinweise, welche Punkte bei der automatischen Rufanalyse zu beachten sind, und welche Möglichkeiten der Überprüfung bestehen. Wir empfehlen zu diesem Dokument die Kriterien-sammlung des Landesamt für Umwelt Bayern zu beachten. Diese ergänzt den vorliegenden Text und führt „Bestimmungsregeln“ für die bayerischen Arten auf:

[http://www.ecoobs.de/downloads/Kriterien\\_Lautzuordnung\\_10-2009.pdf](http://www.ecoobs.de/downloads/Kriterien_Lautzuordnung_10-2009.pdf)

## 1.1. Möglichkeiten und Probleme der akustischen Artanalyse

### 1.1.1. „*Bats are not birds*“

Die größte Fehlerursache der akustischen Artanalyse basiert auf der Rufvariabilität der einzelnen Arten. Daraus resultierende interspezifische Überlappung von Rufparametern führt grundsätzlich zu einer Unsicherheit bei der Artbestimmung. Der Titel eines Artikels „*Bats are not Birds*“ (Barclay 1999) wird in der wissenschaftlichen Fachwelt häufig zitiert und beschreibt das Problem der Rufanalyse klar: die Rufe der Fledermäuse dienen der Gewinnung von Information zur Umgebung und Beute, nicht zum „Bewerben“ der eigenen Art. Somit ist eine sichere Unterscheidung in manchen Rufsituationen nur bedingt oder nicht möglich.

Darüber hinaus erschwert die Rufvariabilität „den typischen Ruf“ einer Art anhand von Parametern eindeutig zu beschreiben und abzugrenzen. Die wenigsten Arten können aufgrund von einfachen Grenzwerten einzelner Parameter eindeutig bestimmt werden. Meist erlaubt erst eine komplexe Verknüpfung mehrerer Kennwerte die Unterscheidung ähnlich rufender Arten. Bei der automatischen Analyse haben zusätzlich die Aufnahmebedingungen einen großen Einfluss auf die Vermessung der Rufe. Suboptimale Aufnahmen (starke Echos, erhöhtes Rauschen) können zur unvollständigen Signalvermessung und damit zur ungenauen Artbestimmung führen. Keine Analysemethode wird jemals eine absolute Bestimmungssicherheit leisten können. Es wird immer notwendig

sein, eine Fehlerabschätzung und Interpretation der Ergebnisse vorzunehmen.

### 1.1.2. Bestimmungsrate, Qualität

Um die Qualität einer Bestimmungsmethode zu beurteilen, wird die Bestimmungsrate vom Testrufen herangezogen. Die für das batcorder-System ermittelte Rate von 95% ist im Vergleich zu Literaturangaben zu manuellen sowie anderen automatischen Bestimmungsmethoden (Ahlen 1981; Fenton & Bell 1981; Weid & Helversen 1987; Fenton 1988; Weid 1988; Ahlen 1990; Zingg 1990; Herr et al . 1997; Vaughan et al . 1997; Ahlén & Baagoe 1999; Barclay 1999; O'Farrell & Miller 1999; O'Farrell et al . 1999; Tibbels 1999; Jones et al . 2000; Parsons & Jones 2000; Russo & Jones 2002; Rydell et al . 2002; Obrist et al . 2004) ein sehr gutes Ergebnis. Da jedoch zum Training und Test der Methode nur Rufe von brauchbarer Qualität (in der Regel ohne Störungen) verwendet werden, wird diese Erkennungsrate im Freiland in der Regel nicht erreicht.

Der Restfehler von 5% führt dazu, dass auch unter optimalen Bedingungen immer ein gewisser Anteil an Rufen nicht oder falsch bestimmt wird. Diese Restunschärfe ist bei räumlich und zeitlich vergleichenden Untersuchungen, für die das batcorder-System entwickelt wurde, jedoch in der

Regel belanglos. Wird zum Beispiel die Habitatnutzung einer Art untersucht, sind einzelne Falsch-Positiv bestimmte Sequenzen an wenig genutzten Standorten irrelevant; aus primär genutzten Habitaten liegen dann meist mehrere Hundert richtig bestimmte Aufnahmen vor.

### 1.1.3. Manuelle Prüfung

Bei der manuellen, akustischen Erfassung (z.B. Zeitdehner-Detektor), erlaubt der zu meist kleine Datensatz eine ausführliche Analyse der einzelnen Aufnahmen mit dem Computer. Im Idealfall kann jeder Ruf als Sonagramm am Rechner betrachtet werden, und so auch eine schlechte Aufnahme unter Umständen noch einer Artengruppe oder sogar Art zugeordnet werden. Dies ist bei Untersuchungen mit dem batcorder-System aufgrund der enormen Datenmengen weder möglich noch zwingend notwendig. Dennoch können und sollten die Analysen des batcorder-Systems einer Prüfung unterzogen werden; insbesondere dann, wenn die Daten für die Erstellung von Verbreitungskarten oder für naturschutzfachliche Begutachtung von seltenen oder besonders geschützten Arten verwendet werden. Auch liefert das System nur die Daten, aber keine Interpretation, die je nach Fragestellung notwendig ist.

## 2. Das Verfahren der automatischen Rufanalyse

Die automatische Rufanalyse (bcAdmin/bcDiscriminator/batIdent) lässt sich nur bedingt mit der Bestimmung anhand des Höreindrucks (Mischer/Teilerdetektor) oder der manuellen Analyse von Aufnahme Dateien anhand von Sonagrammen am Computer vergleichen. Es gibt teilweise große Unterschiede in Bezug auf potenzielle Fehlerquellen. Zusammenfassend hat die automatische Analyse folgende Eigenschaften:

➔ **objektiv**

Die Ergebnisse hängen nicht mehr vom Kenntnisstand und dem Vermögen des Bearbeiters ab.

➔ **nachprüfbar**

Die Ergebnisse sind jederzeit nachprüfbar und reproduzierbar. Die Aufnahme Dateien können jederzeit mit anderen oder verbesserten Programmen nachbestimmt werden.

➔ **unkritisch bzgl. seltener oder lokal nicht vorkommender Arten**

Im Gegensatz zur manuellen Bestimmung interpretiert die automatische Analyse die Ergebnisse nicht. Informationen wie z.B. die lokale Verbreitung einer Art, die ein menschlicher Bearbeiter normalerweise bei der Bestimmung mit berücksichtigt, sind im Programm nicht implementiert. Es besteht dadurch aber auch nicht die Gefahr von Zirkelschlüssen („Weil nicht sein kann, was nicht sein darf“).

➔ **beurteilt Rufe/Sequenzen nicht im zeitlichen Kontext**

Da die Analyse die einzelnen Rufe einer Sequenz getrennt untersucht und bestimmt, werden einzelne Ausreißer in einer Rufreihe schlechter erkannt. Zeitliche Informationen der Sequenzen (z.B. direkte Nachfolge mehrerer Aufnahmen) beachtet die automatische Analyse folglich nicht.

### ➔ begrenzte Entscheidungskriterien bzgl. Qualität von Signalen

Das System kann nur bedingt erkennen, ob gefundene Signale in die Analyse eingehen sollen. Während ein Bearbeiter meist sofort erkennt, dass Signale unvollständig sind, mit anderen Rufen überlappen oder es sich um Echos, Sozialrufe oder unbekannt Rufftypen handelt, kann das Analyseprogramm nicht auf solche Erfahrungen zurückgreifen. Es hat zwar Kriterien zur Erkennung der Signalqualität und potenzieller Ausreißer, diese können aber nie alle vorkommenden Fälle abdecken.

Die Resultate der automatischen Analyse hängen stark von der Signalqualität und der verwendeten Aufnahmetechnik ab. So dürfen Signale nicht zu leise sein und müssen einen guten Signal-Rauschabstand haben, um vernünftig vermessen zu werden. Die Aufnahmecharakteristika der Technik (Frequenzgang, Direktionalität des Mikrofons, Eigenrauschen, Abtastrate und Dynamikumfang) beeinflussen ebenso die spätere Vermessung. Deshalb erzielt eine automatische Analyse nur bei solchen Rufaufnahmen optimale Ergebnisse, die mit derselben Technik aufgezeichnet wurden, wie die Trainingsrufe des statistischen Analyse-Verfahrens.

Das batcorder-System umfasst aus diesem Grund aufeinander abgestimmte Hard- und Software. Der batcorder wurde so konzipiert, dass er Signale möglichst mit der benötigten Qualität und Lautstärke aufnimmt. Die automatische Ruffindung und Vermessung mit dem Programm bcAdmin (Abbildung 1) ist in ihren Standard-Einstellungen genau auf diese Aufnahmen abgestimmt. Die statistische Artanalyse mit dem Programm batldent (frü-

her bcDiscriminator) wurde mit Rufmesswerten trainiert, die alle mit ähnlichen Einstellungen des batcorders und des Vermessungsprogramms generiert wurden. Werden die Aufnahmekriterien am batcorder oder die Einstellungen der automatischen Vermessung durch bcAdmin verändert, führt dies unter Umständen dazu, dass mehr Rufe mit suboptimaler Qualität vermessen werden. Dies wiederum kann zu ungenauen oder falschen Artzuweisungen führen.

Die anschließende statistische Artanalyse ist im Programm batldent implementiert (Abb. 2). Dieses *open-source* Programm nutzt die von bcAdmin gespeicherten Messwerte, um in einem mehrstufigen Ablauf mit dem Diskriminierungsverfahren *randomForest* die Rufe einer Artengruppe und, wenn möglich, einer einzelnen Art zu zuordnen. Die Grafik im Anhang 2 zeigt diesen Analysebaum.

Je Stufe werden Ausreißer (unbekannte oder schlecht vermessene Rufe) mittels eines SVM-Algorithmus (*Support-Vector-Machine*) erkannt und aussortiert. Nach Abschluss der Analyse aller Rufe einer

Aufnahme werden für die Sequenz bis zu drei Arten aus der Liste der Bestimmungen der Einzelrufe extrahiert. Hierzu werden die potenziell ermittelten Arten/Gruppen nach Rufanzahl und Zuordnungssicherheit gruppiert. Liegen mehr als 2 Rufe und eine mittlere Wahrscheinlichkeit von über 60%

vor, wird das Bestimmungsergebnis berechnet. Die zusammengefassten Bestimmungsergebnisse von bis zu drei ermittelten Arten werden in einer Datei gespeichert und können von bcAdmin importiert werden.

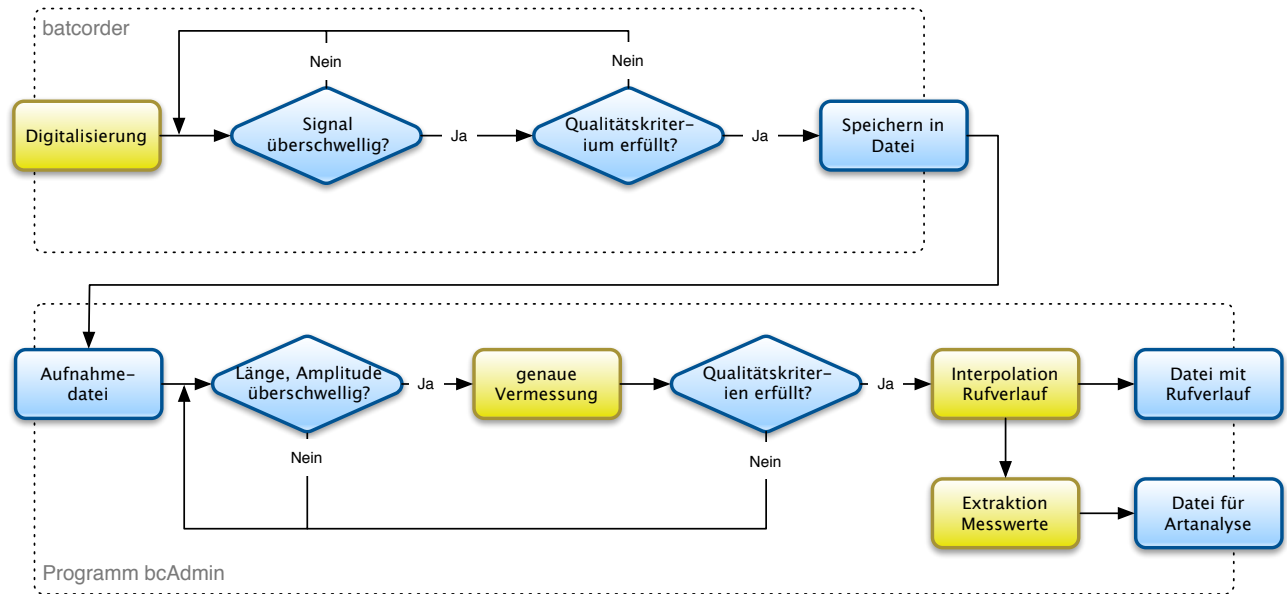


Abbildung 1: Analyseschritte des batcorders und des Programms bcAdmin.

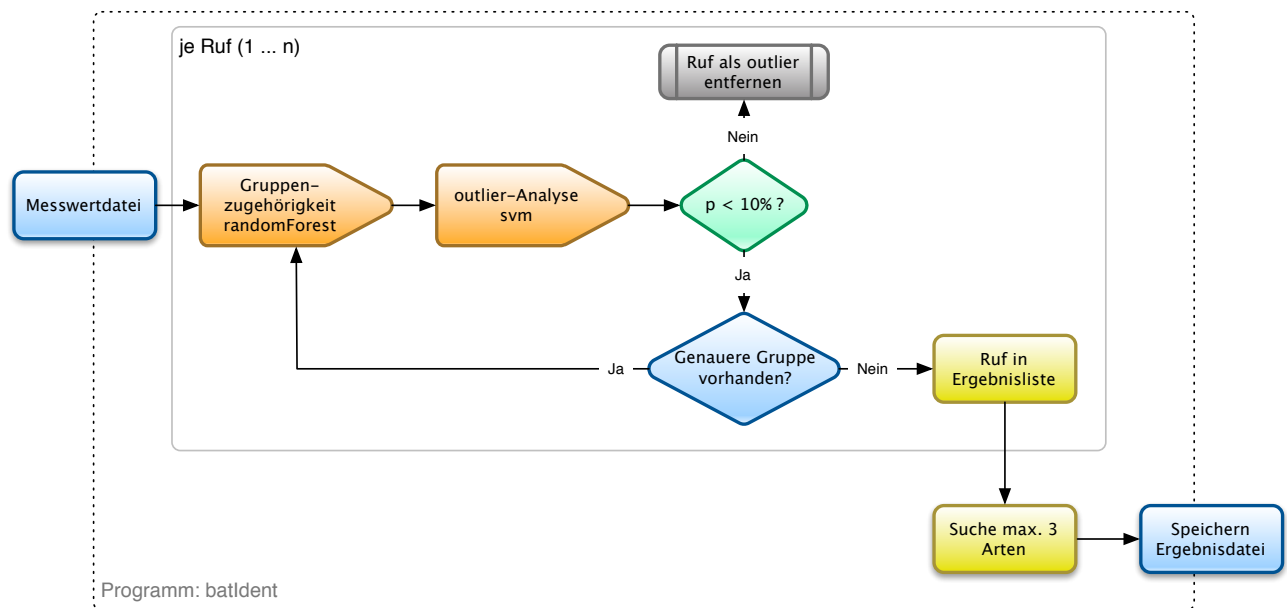


Abbildung 2: Analyseschritte des Programms batdent.

Dieses Verfahren gewährleistet, dass nicht jeder Ruf zwingend auf Artniveau bestimmt wird. Ist die Diskriminierung auf z.B. Grund von Überlappung des Rufrepertoires zweier Arten unsicher, wird eine Artengruppe als Ergebnis ausgegeben. Rufe oder Signale, die dem Programm nicht bekannt sind, werden als „Spec.“ gekennzeichnet.

Durch die Extraktion von bis zu drei Arten pro Sequenz, funktioniert die Analyse auch dann noch, wenn mehrere Arten gleichzeitig rufen. Nicht zuletzt soll die Ausreißer-Analyse gewährleisten, dass schlecht vermessene oder unbekannte Signale, die zwar einer Art zugewiesen wurden, aber nicht ins Rufrepertoire dieser Art passen, nicht in die Endergebnisse eingehen.

## 2.1. Die Statistik und ihre Kennwerte

Die folgenden Abschnitte gehen auf die Aussagekraft verschiedener Kennwerte der statistischen Analyse ein. Genauer betrachtet werden die Angaben der Trennungsraten in Form von *confusion-tables* (Verwechslungstabellen) und die Zuordnungswahrscheinlichkeiten, die für jeden Ruf ausgegeben werden. Für die Interpretation der Ergebnisse ist es wichtig zu verstehen, wie diese Werte ermittelt werden und welche Bedeutung sie haben.

Die rufweise Artdiskriminierung erfolgt durch das statistische Verfahren *random Forest* (Breiman 2001). Zum Training dieses Verfahrens wurden die Rufe aller Arten in „Ruftypen“ untergliedert, die die gesamte Variabilität abbilden. Von jeder Art gingen dann ca. 500 Rufe als so genannte Trainingsrufe ein, die zu gleichen Teilen alle identifizierten Ruftypen enthielten. Die Verwechslungsraten und damit die Güte der Analyse wurde mit einem Set von Testrufen mit bekannter Artzuordnung analysiert und in Form von *confusion-tables* dargestellt.

Sehr grob vereinfacht, überprüft das Verfahren für einen neuen Ruf, der bestimmt werden soll, wie viele ähnliche Rufe es bei den Trainingsrufen der verschiedenen Arten findet. Die Art, von der die meisten Rufe vorliegen, die dem Proberuf entsprechen, wird als Diagnose übernommen und ausgegeben (erscheint nach dem Import auch in bcAdmin). Findet das Verfahren z.B. 60 Rufe der Art A und 40 Rufe der Art B, die dem Testruf ähneln, wird der Ruf der Art A mit 60% Sicherheit zugeordnet. In bcAdmin entspricht die Zuordnungswahrscheinlichkeit für eine ganze Sequenz dem Mittel der Wahrscheinlichkeiten der Einzelrufe.

Die folgende Tabelle zeigt als Beispiel die Verwechslungsraten von Einzelrufen der Nord- und Breitflügelfledermaus:



| ZUORDNUNG                  | WAHR                       |                            | n      | Falsch-Positiv |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|----------------|
|                            | <i>Eptesicus nilssonii</i> | <i>Eptesicus serotinus</i> |        |                |
| <i>Eptesicus nilssonii</i> | 529                        | 66                         | 595    | 11,02%         |
| <i>Eptesicus serotinus</i> | 70                         | 531                        | 601    | 11,73%         |
| n                          | 599                        | 597                        | 1196   |                |
| Falsch-Negativ             | 11,69%                     | 11,05%                     | 11,37% |                |

Tabelle 1: Verwechslungstabelle einer *randomForest* Analyse für Einzelrufe der Nord- und Breitflügelfledermaus. In den Spalten sind die originalen Artzuordnungen verzeichnet und in den Reihen die Bestimmungen durch die Analyse. Die Falsch-Negativ Rate ist der Anteil von Rufen einer Art, der fälschlich der anderen Art zugeordnet wurde. Die Falsch-Positiv Rate ist der Anteil falscher Zuordnung an der Gesamtmenge Rufe, die einer Art zugeordnet wurden.

Die (hypothetische) Verteilung der Trainingsrufe einer Analyse zweier Arten in einem Merkmals-/Diskriminierungsraum ist in der nachfolgenden Abbildung 3 zu sehen. Von beiden Arten sind gleich viele Rufe in die Analyse eingeflossen und die Rufvariabilität ist gleichmäßig abgedeckt. Es existiert ein deutlicher Überschneidungsbereich zwischen beiden Arten. Die Markierungen mit Zahlenangaben zeigen

die Zuordnungswahrscheinlichkeiten für einen Ruf, der an einer bestimmten Stelle im Merkmalsraum liegt. Wie oben beschrieben ergeben sich diese Angaben aus der Anzahl von Rufen der entsprechenden Arten, die dem jeweiligen Ruf ähneln, also im Merkmalsraum in seiner Nähe liegen.

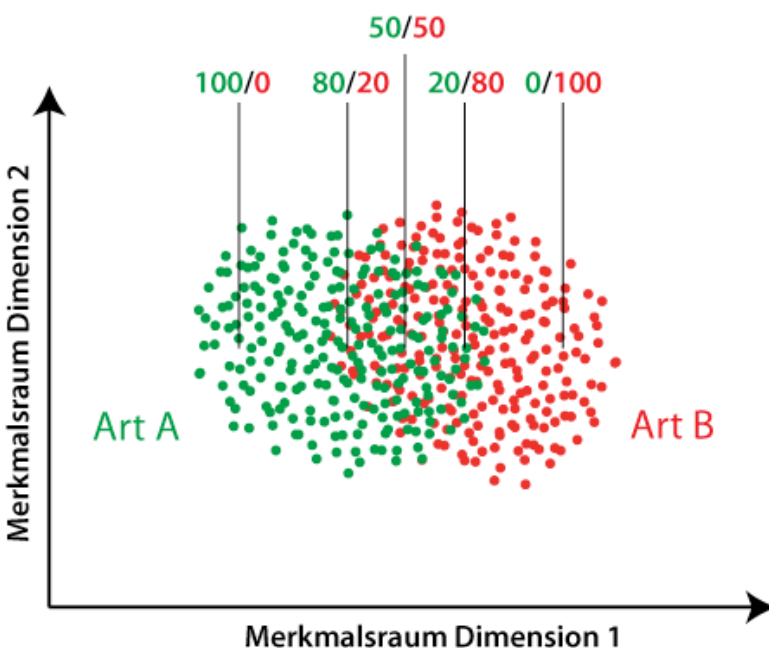


Abbildung 3: Verteilung von Rufen zweier Arten in einem hypothetischen Merkmalsraum. Die Arten zeigen eine Überlappung im Rufspektrum. Die Zahlen geben die Zuordnungswahrscheinlichkeiten an verschiedenen Stellen der Punktwolken an.



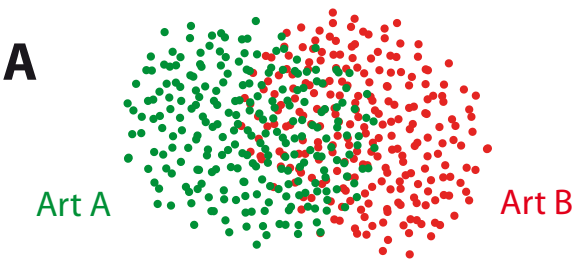
*Confusion-tables* und Zuordnungswahrscheinlichkeiten sind wichtige Kennzahlen der Statistik und ermöglichen den Vergleich von Diskriminierungsmethoden. Im Anhang 1 ist ein *confusion-table* beigefügt, der die Trennungsraten der von uns verwendeten Statistik für Einzelrufe wiedergibt. Um die Tabelle übersichtlich zu halten, und um den Vergleich mit Angaben zu anderen Methoden zu erleichtern, wurden die sequenzweise Zusammenfassung der Ergebnisse ebenso wie die Bestimmung von unsicheren Rufen (nur auf Niveau von Artgruppen) durch batIdent nicht berücksichtigt.

Aus *confusion-tables* können weiterhin Rückschlüsse auf die Verwechslungsgefahr einzelner Artenpaare gezogen werden, was bei der Interpretation von Ergebnissen im Freiland hilft.

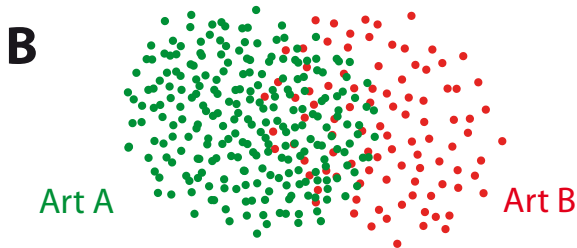
Die Angaben zur Bestimmungswahrscheinlichkeit sind nützlich, um bei einer Kontrolle fraglicher Aufnahmen die Sicherheit der Zuordnung einzelner Rufe und Sequenzen zu überprüfen. Sowohl Verwechslungsraten als auch Zuordnungswahrscheinlichkeiten gelten jedoch in erster Linie für die Trainings- und Testrufe und sind nicht ohne Weiteres direkt auf die Praxis (Freilandaufnahmen) übertragbar. Sie werden wesentlich durch die Anzahl der Rufe einer Art, deren Qualität, sowie die Gewichtung verschiedener Rufotypen beeinflusst. Die nachfolgende Abbildung 4 verdeutlicht dies.

Der obere Teil der Abbildung (4A) zeigt den Fall, dass von zwei Arten gleich viele Rufe in eine Analyse eingehen. Von bei-

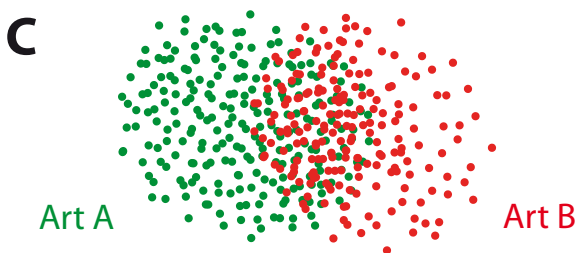
den Arten gehen alle Rufe ihres Rufspektrums gleich stark ein. Es werden jeweils 90% der Rufe beider Arten richtig-positiv bestimmt. Die Verwechslungsraten entsprechen in so einem Fall ungefähr den Verwechslungsraten bei den Trainingsrufen. Gehen von den zwei Arten jedoch unterschiedlich viele Rufe in die Analyse ein (Abb. 4B), bleibt zwar der Anteil richtig-positiver und damit auch falsch-negativer Rufe konstant, der Anteil falsch-positiver Rufe von Art B schnellst jedoch in die Höhe. Noch besser kann man sich diesen Effekt verdeutlichen, wenn man sich vorstellt, dass an einem Standort nur Art A auftritt. Es werden dann von diesen Rufen 10% fälschlich als Art B bestimmt. 100% der Rufe, die an diesem Standort vermeintlich von Art B vorliegen, sind demnach Falsch-Positive Bestimmungen. Beim letzten Beispiel (Abb 4C) liegen von beiden Arten gleich viele Rufe vor, jedoch gehen von Art B hauptsächlich Rufe aus dem Überschneidungsbereich ein. In solch einem Fall steigen die Falsch-Negativen Bestimmungen von Art B als auch die Falsch-Positiven Bestimmungen von Art A deutlich an. Auch sind die Zuordnungswahrscheinlichkeiten in diesem Fall zum Großteil irreführend. Z.B. würde für Rufe in der Mitte des Überschneidungsbereichs eine Wahrscheinlichkeit von ca. 50% für beide Arten ausgegeben werden, da bei den Trainingsrufen ungefähr gleich viele Rufe dieses Typs beider Arten eingingen. In der gegebenen Situation liegen jedoch viel mehr Rufe der Art B in diesem Bereich und die Wahrscheinlichkeit, das ein Ruf Art B zuzuordnen ist, müsste bei ca. 80% liegen.



| Wahr Vorhersage | Art A | Art B | falsch-positiv |
|-----------------|-------|-------|----------------|
| Art A           | 450   | 50    | 10%            |
| Art B           | 50    | 450   | 10%            |
| n               | 500   | 500   |                |
| falsch-negativ  | 10%   | 10%   |                |



| Wahr Vorhersage | Art A | Art B | falsch-positiv |
|-----------------|-------|-------|----------------|
| Art A           | 450   | 20    | 4,26%          |
| Art B           | 50    | 180   | 21,74%         |
| n               | 500   | 200   |                |
| falsch-negativ  | 10%   | 10%   |                |



| Wahr Vorhersage | Art A | Art B | falsch-positiv |
|-----------------|-------|-------|----------------|
| Art A           | 450   | 150   | 25%            |
| Art B           | 50    | 350   | 12,50%         |
| n               | 500   | 500   |                |
| falsch-negativ  | 10%   | 30%   |                |

Abbildung 4: verschiedene Verteilung von Rufen zweier Arten in einem hypothetischen Merkmalsraum, sowie die resultierenden Verwechslungsraten, die sich aus der Diskriminierung mit immer derselben statistischen Methode ergeben. A: Von beiden Arten gehen gleich viele Rufe ein, die gleichmäßig die Rufvariabilität abdecken; B: Von Art B gehen deutlich weniger Rufe ein; C: Von beiden Arten gehen gleich viele Rufe ein, von Art B gehen jedoch hauptsächlich Rufe im Überlappungsbereich ein.

In der Praxis wird es fast nie den Fall geben, dass die Arten, die miteinander verwechselt werden können, genau gleich häufig rufen, und auch alle Rufe des Rufspektrum im gleichen Maße genutzt werden. Außerdem werden im Freiland immer auch qualitativ schlechte Rufe (leise Rufe, Störungen, ...) aufgezeichnet werden, die so nicht in Training und Test der Analyse eingehen. Sowohl die Angaben der Verwechslungsraten als auch der Zuord-

nungswahrscheinlichkeiten sind somit zwar wichtige Hinweise für die Interpretation der Diskriminierungsergebnisse, jedoch sind sie keine universell gültigen Werte. Insbesondere wenn Arten, die verwechselt werden können, in sehr ungleichem Verhältnis auftreten, sollten die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden.

### 3. Möglichkeiten der manuellen Nachbestimmung

Eine Überprüfung der Ergebnisse der Artanalyse aus batldent ermöglicht in vielen Fällen das Finden und Eliminieren offensichtlicher Fehler. Durch eine sinnvolle nachträgliche Durchsicht der automatisch bestimmten Sequenzen, können die Vorteile der automatischen und manuellen Artbestimmung kombiniert und die Fehlerquellen beider Verfahren minimiert werden. Es existieren verschiedene Möglichkeiten, die Bestimmungsergebnisse auf Plausibilität zu prüfen, und gegebenenfalls Nachbestimmungen durchzuführen.

In welcher Intensität diese Verfahren angewendet werden, hängt einerseits von

der angestrebten Untersuchungstiefe oder Aussagekraft der Erfassung (z.B. wissenschaftliche Untersuchung oder nur ein grobes Scanning) und andererseits vom Kenntnisstand und der Erfahrung des Bearbeiters ab. Der notwendige Bearbeitungsaufwand hängt weiter davon ab, welche Arten von Interesse sind. Ob z.B. die Mopsfledermaus in einem Gebiet tatsächlich vorkommt, ist sehr viel einfacher zu überprüfen als die Frage, ob an einem Standort Zweifarbfledermaus und Kleinabendsegler zusammen auftraten.

Die folgenden Kriterien stehen zur Überprüfung und Verbesserung der automatischen Analyseergebnisse zur Verfügung:

#### ➔ Gesamte Nacht

- Beurteilung des gesamten Artenspektrums und der Häufigkeiten der Artnachweise
- Zeitliche Abfolge der Sequenzen

#### ➔ Einzelne Sequenzen

- Anzahl der Rufe und Zuordnungswahrscheinlichkeit
- Vollständigkeit / Qualität der Vermessung
- Lautstärke
- Sozialrufe
- Rufform und verschiedene messbare Parameter

### 3.1. Beurteilung Artenspektrums und der Häufigkeiten

Mit etwas Erfahrung können für eine Nacht schon anhand des Artenspektrums und der Anzahl der Aufnahmen pro Art/Gruppe Hinweise auf mögliche Fehlbestimmungen gefunden werden. Liegen von einer Art nur sehr wenige Aufnahmen vor (insbesondere im Verhältnis zur gesamten Aufnahmezahl), sind Nachweise grundsätzlich kritischer zu bewerten. Weder die automati-

sche noch die manuelle Analyse können hundertprozentige Sicherheit garantieren; es gilt immer zu beachten, dass einzelne Sequenzen einer am Standort häufigen Art falsch bestimmt werden können. Weist ein häufige Art eine hohe Überlappung ihres Rufrepertoires mit anderen, seltenen Arten auf, sollte entweder eine genauere Analyse der entsprechenden Sequenzen erfolgen, oder die Artzuweisung sollte als unsicher gewertet oder ignoriert werden.

Tabelle: Ungeprüftes Artenspektrum eines Standorts nach automatischer Analyse.

| automatische Analyse |            |            | Tatsächliches Artinventar |           |
|----------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|
| Arten                | Sequenzen  | %          | Arten                     | Sequenzen |
| Hsav                 | 1          | 0,8        | Enil                      | 117       |
| Bbar                 | 7          | 5,8        |                           |           |
| Nyctaloid            | 13         | 10,8       |                           |           |
| Enil                 | 95         | 79,2       |                           |           |
| Nlei                 | 1          | 0,8        |                           |           |
| Mkm                  | 2          | 1,7        | Mbart                     | 3         |
| Mbart                | 1          | 0,8        |                           |           |
| <b>Summe</b>         | <b>120</b> | <b>100</b> |                           |           |

Die Tabelle zeigt das Artenspektrum eines Standorts nach automatischer Analyse. Rot hervorgehoben sind fehlbestimmte Sequenzen; tatsächlich flog an der Stelle nur die Nordfledermaus, *Eptesicus nilssonii* und eine Bartfledermausart, *Myotis mystacinus/brandtii*. Das Vorkommen der Nordfledermaus ist auf Grund der großen Anzahl bestimmter Sequenzen als sicher anzunehmen. Jeweils eine Sequenz des

Kleinabendseglers, *Nyctalus leisleri* und der Alpenfledermaus, *Hypsugo savii* drängen sich jedoch als potentielle Fehlbestimmungen auf, da diese Arten sehr ähnliche Rufe wie die Nordfledermaus nutzen können. Die fälschlich bestimmten Aufnahmen der Mopsfledermaus, *Barbastella barbastellus* erwiesen sich bei der Überprüfung als kurze Stücke von Rufechos der Nordfledermaus. Da *Myotis*-Arten

deutlich andere Rufe nutzen als die Nordfledermaus, ist bei diesen eine Fehlbestimmung trotz geringer Anzahl Sequenzen sehr unwahrscheinlich. Tatsächlich waren diese richtig bestimmt worden.

bcAdmin (ab Version 2.0) beinhaltet die Anzeige eines Bestimmungsbaumes für ausgewählte Aufnahmenächte, um die Suche nach Fehlbestimmungen nach dem obigen Schema zu erleichtern (Abb. 5).

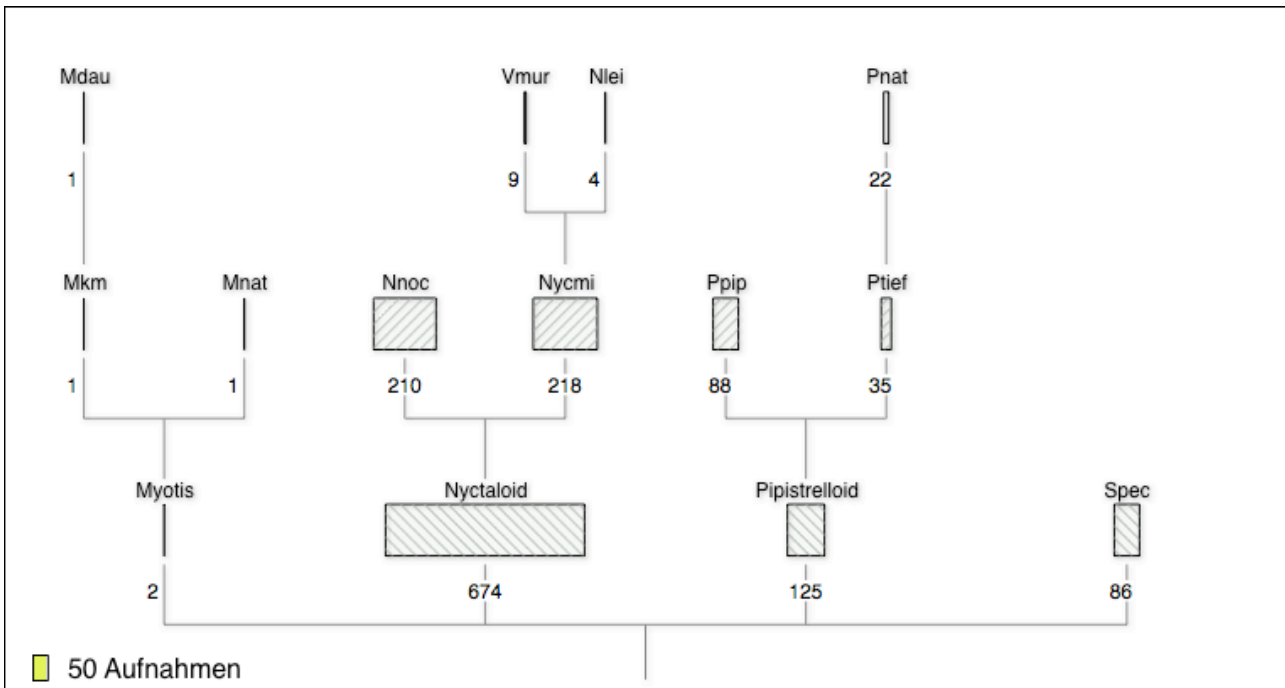


Abbildung 5: Baumdarstellung der Bestimmungen für eine/mehrere ausgewählte Aufnahmenächte (in bcAdmin ab Version 2.0).

### 3.2. Zeitliche Abfolge der Sequenzen

Die automatische Analyse kann nicht berücksichtigen, in welchem zeitlichen Kontext die Sequenzen zueinander stehen. Wurden einige Sequenzen mit ähnlichen Rufen kurz nacheinander aufgezeichnet, ist dies meist ein deutlicher Hinweis, dass sich ein einzelnes Tier für eine gewisse Zeit z.B. bei der Jagd im Erfassungsbereich des Mikrofons aufhielt. Wenn diese

Sequenzen unterschiedlichen Arten/Gruppen zugeordnet wurden, kann dies ein Hinweis auf Fehlbestimmungen sein (Abb. 6). Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die betreffenden Arten sehr ähnliche Rufe verwenden können. Treten Sequenzen zweier leicht zu verwechselnder Arten zeitlich deutlich getrennt auf, kann dies als Bestärkung der Analyse-Ergebnisse betrachtet werden.

| Filename                   | Time     | Length | Calls | Species | Comment |
|----------------------------|----------|--------|-------|---------|---------|
| 210608-01AXXXXXXX-0036.raw | 21:54:52 | 0,46 s | 3 1   | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0037.raw | 21:55:02 | 1,41 s | 14 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0038.raw | 21:55:18 | 0,88 s | 8 1   | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0039.raw | 21:55:36 | 1,30 s | 18 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0040.raw | 21:55:54 | 0,65 s | 2 1   | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0041.raw | 21:58:06 | 1,11 s | 12 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0042.raw | 21:58:42 | 1,16 s | 13 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0043.raw | 21:59:00 | 2,51 s | 37 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0044.raw | 21:59:04 | 1,58 s | 22 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0045.raw | 21:59:08 | 0,79 s | 6 1   | Pnat    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0046.raw | 21:59:22 | 1,05 s | 11 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0047.raw | 21:59:26 | 1,28 s | 15 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0048.raw | 21:59:28 | 1,00 s | 12 1  | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0049.raw | 22:00:02 | 0,66 s | 3 1   | Ppip    |         |
| 210608-01AXXXXXXX-0050.raw | 22:00:18 | 0,87 s | 9 1   | Ppip    |         |

Abbildung 6: Ausschnitt der Aufnahmetabelle einer Nacht in bcAdmin zeigt eine Rauhhauffledermaus (Pnat) innerhalb eines Blocks von Aufnahmen der Zwergfledermaus (Ppip). Diese eine Aufnahme ist, obwohl sie recht tief frequente Rufe beinhaltet, anzuzweifeln.

### 3.3. Genauere Überprüfung einzelner Sequenzen

Die genauere Überprüfung einzelner Sequenzen sollte in Betracht gezogen werden, wenn es sich bei Artbestimmungen um naturschutzfachlich relevante oder lokal nicht zu erwartende Arten handelt. Sie ist auch dann sinnvoll, wenn von einer Art nur wenige Sequenzen vorliegen, oder die zeitliche Abfolge der Sequenzen Hinweise auf Fehlbestimmungen liefert (siehe vorhergehende Abschnitte). Eine Kontrolle aller Sequenzen wird auf Grund des Aufwandes fast nie möglich sein, und ist im Normalfall auch nicht notwendig.

Für die Überprüfung von Einzelaufnahmen stehen folgende Kriterien zur Verfügung:

- Anzahl der Rufe und Wahrscheinlichkeit
- Korrekte/vollständige Vermessung der Rufe?
- Lautstärke der Rufe
- Sozialrufe enthalten?
- Rufform und verschiedene messbare Parameter

#### 3.3.1. Anzahl der Rufe und Zuordnungswahrscheinlichkeit

In der Sequenzliste des Programms bcAdmin sind neben der Artbestimmung auch die Anzahl gefundener Rufe und die Wahrscheinlichkeit der Bestimmung aufgeführt.

Gerade bei fraglichen Sequenzen können diese Informationen zur Überprüfung herangezogen werden. Wie die Statistik die Zuordnungswahrscheinlichkeiten ermittelt, wurde in [Kapitel 2.1](#) erläutert.

Grundsätzlich gilt, dass die Diskriminierung umso sicherer ist, je mehr Rufe vorliegen und je höher die Bestimmungswahrscheinlichkeit ist (Abb. 7). Liegen in einer Aufnahme viele Rufe vor, ist es unwahrscheinlich, dass einzelne Ausreißer die Diskriminierung verfälschen. Wurden dagegen in einer Sequenz nur wenige Rufe gefunden, kann eine schlechte Vermessung einzelner Rufe zu einer Fehlbestimmung der gesamten Sequenz führen.

Die Artanalyse mit batIdent berücksichtigt bereits die Anzahl der Rufe bei der Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Artzuweisung.



| filename                     | time     | length | Calls | Species 1 | Prob. | S |
|------------------------------|----------|--------|-------|-----------|-------|---|
| ✓ 100708-I3XXXXXXXX-0046.raw | 23:45:28 | 0,46s  | 1     | Mkm       | 77%   |   |
| ✓ 100708-I3XXXXXXXX-0047.raw | 23:45:28 | 0,46s  | 1     | Mkm       | 71%   |   |
| ✓ 100708-K1XXXXXXXX-0043.raw | 23:38:22 | 1,40s  | 12    | Mbart     | 79%   |   |
| ✓ 100708-K1XXXXXXXX-0044.raw | 23:38:46 | 2,05s  | 21    | Mbart     | 90%   |   |
| ✓ 100708-K1XXXXXXXX-0045.raw | 23:39:06 | 2,66s  | 18    | Mbart     | 87%   |   |

Abbildung 7: In dieser Sequenzliste (aus bcAdmin) ist gut zu erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit bzw. Sicherheit der Artzuordnung mit der Anzahl von Rufen positiv korreliert ist. Die ersten beiden Sequenzen, mit jeweils nur einem Ruf, konnten mit geringer Wahrscheinlichkeit nur auf Gruppenniveau bestimmt werden (Mkm). Die vierte Sequenz mit 21 Rufen wurde dagegen mit 90% Wahrscheinlichkeit als Bartfledermaus, *Myotis mystacinus/brandti* bestimmt.

Leider gibt es keine allgemein gültige Regel, wie viele Rufe mit welcher Wahrscheinlichkeit vorliegen müssen, damit die Bestimmung als gesichert angesehen werden kann. Sequenzen mit Rufen der Zwergfledermaus haben z.B. fast immer Zuordnungswahrscheinlichkeiten von über 90%. Geringere Werte wären hier als schlecht anzusehen. Rufe der Gattungen *Myotis* oder *Nyctalus* erreichen jedoch fast nie dieses Wahrscheinlichkeitsniveau. Eine Sequenz der Wasserfledermaus mit einer Zuordnungswahrscheinlichkeit ab 80% kann jedoch als sicher angesehen werden (ca. 1% falsch positive Bestimmung).

Auf Grund der hinterlegten Statistik entspricht der ermittelte Wahrscheinlichkeitswert nicht zwingend dem mittleren Anteil richtiger bestimmter Aufnahmen. Die von batIdent ausgegebene Wahrscheinlichkeit gibt nur an, wie der analysierte Ruf innerhalb des Sets an Trainingsrufen eingeordnet wurde. Ein Wert von <100% bedeutet, dass ein Ruf im Überschneidungsbereich von mindestens zwei Arten liegt. Dabei wird vom Verfahren angenommen, dass alle, diesen Ruftyp äußernden Arten, gleich häufig aufgezeichnet werden und ihr

Rufrepertoire immer die gleiche Zusammensetzung wie die Trainingsrufe hat.

Ein gutes Beispiel zur Verdeutlichung dieser Problematik sind die Nymphenfledermaus, *Myotis alcathoe* und die Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus*:

Die Zwergfledermaus kann z.B. in dichter Vegetation sehr kurze, steile Rufe äußern, die den Rufen der Nymphenfledermaus ähnlich sind. Treten beide Arten gleichzeitig auf und nutzen sie ihr gesamtes Rufrepertoire, würden jeweils weniger als 1% der Rufe falsch zugeordnet werden. Eine Sequenz mit z.B. 98 % Bestimmungssicherheit würde im Schnitt auch tatsächlich in 98 % der Fälle richtig bestimmt worden sein. Fliegt dagegen an einem Standort ausschliesslich die Zwergfledermaus, und immer sehr dicht an/in der Vegetation, würde der Anteil der Fehlbestimmungen steigen. In diesem Fall wäre eine Nymphenfledermaus-Sequenz mit z.B. 98 % Bestimmungssicherheit zwingender Weise immer zu 100 % falsch bestimmt.

Selbst Artzuweisungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 100 % können nicht als absolut sichere Bestimmung gelten. Dies liegt daran, dass für das Training der sta-



tistischen Analyse nur halbwegs gut vermessene Rufe verwendet wurden. Werden Rufe jedoch nicht vollständig vermessen, können diese „Rufbruchstücke“ den Rufen anderer Arten gleichen und auch dann trotz hoher Bestimmungswahrscheinlichkeit falsch bestimmt werden. Die statistische Analyse sucht zwar nach Ausreißern, also Rufen, die nicht im bekannten Rufrepertoire der Arten vorkommen, jedoch können falsch vermessene Signale teilweise nicht von regulären Rufotypen unterschieden werden.

Dies passiert z.B. relativ häufig, wenn nur kurze Stücke am Ende von leisen Rufen der Gattung *Myotis* vermessen wurden. Diese Stücke können bzgl. ihrer Länge und Frequenz den Rufen der Mopsfledermaus, *Barbastella barbastellus* gleichen. Obwohl die Mopsfledermaus eigentlich unverwechselbare Rufe nutzt, können so Fehlbestimmungen entstehen.

Ist man an der Wahrscheinlichkeit der Artzuweisung je Ruf interessiert, sind die zusammengefassten Analyse-Ergebnisse in bcAdmin nicht ausreichend. Insbesondere, wenn mehrere Arten in einer Aufnahme gefunden wurden, geht aus der Anzeige nicht hervor, welche der gefundenen Rufe jeweils auf welche Arten entfallen. Es bietet sich die Möglichkeit, einzelne Dateien mit batIdent nochmals zu analysieren, und die genaueren Informationen im Anzeigenfenster zu nutzen (Abb. 8). Die Abbildung zeigt die Bestimmungsergebnisse für eine Rufdatei, wie sie das Programm bcDiscriminator ausgibt. Im oberen Fenster ist ein Entscheidungsbaum zu sehen, der die durchlaufenen Schritte wiedergibt. Es werden je Analyse-Schritt die Rufanzahl und die Wahrscheinlichkeit ausgegeben. In diesem Fall wurden zwei Arten in der Sequenz gefunden und zwar die Wasserfledermaus, *Myotis daubentonii* mit ca. 72 % Wahrscheinlichkeit und die Mückenfledermaus, *Pipistrellus pygmaeus*.

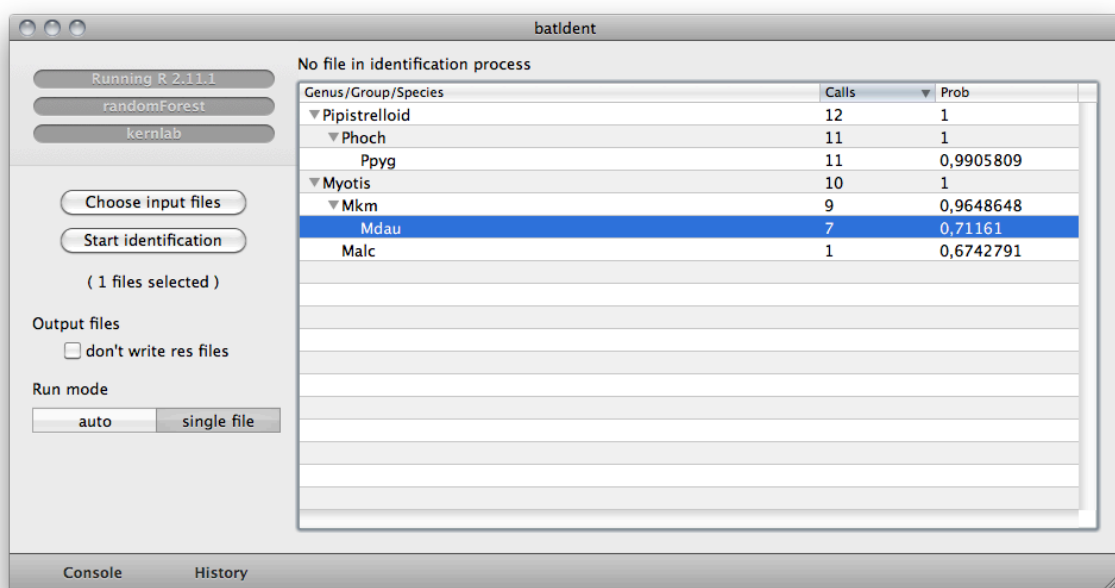


Abbildung 8: Bestimmungsergebnisse einer Datei ausgegeben von batIdent.

Da beide Arten auch in den vorgeschalteten Analyseschritten mit mehreren Rufen und hoher Wahrscheinlichkeit vertreten sind, kann man die Diskriminierung als schlüssig ansehen. bcAdmin (ab Version 1.15 und ab Version 2.0) und bcAnalyze (ab Version 1.07) zeigen die Artzuordnung

auch direkt über den einzelnen Rufen im CallView (Abb. 9) bzw. Oszillogramm (Abb. 10; für beide ist die Voraussetzung ist die vorher durchgeführte Analyse mit bcDiscriminator ab Version 1.14 oder mit batIdent).

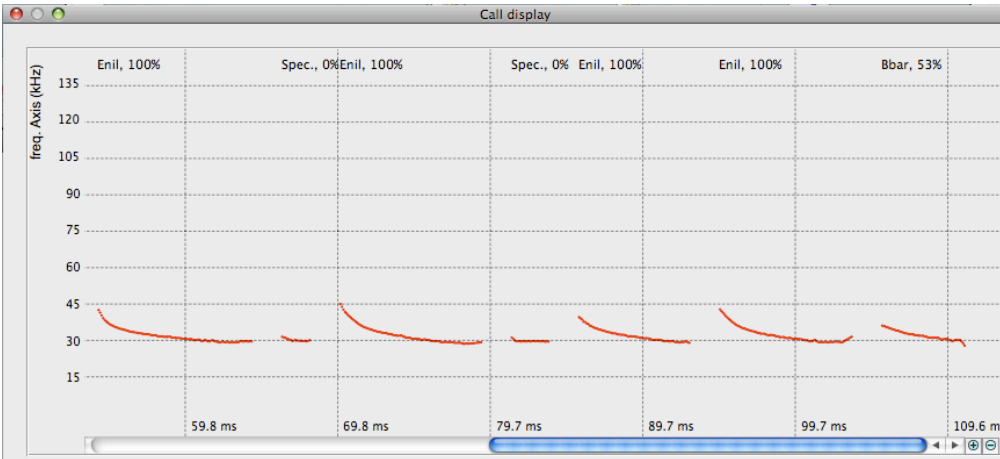


Abbildung 9: Die Zuordnungswahrscheinlichkeiten in der Rufansicht von bcAdmin. Es wurden einige Echos vermessen, die aber nur als „Spec“ bestimmt wurden. Ein unvollständig vermessener Ruf wurde mit geringer Wahrscheinlichkeit der Mopsfledermaus (Bbar) zugeordnet. Alle gut vermessenen Rufe wurden mit hoher Wahrscheinlichkeit der Nordfledermaus (Enil) zugeordnet, von der die Sequenz auch tatsächlich stammt.



Abbildung 10: Darstellung der Ergebnisse je Ruf in bcAnalyze ab Version 1.07. Wenn vorhanden und aktiviert, werden die Rufergebnisse über dem Oszillogramm gezeigt. Durch Rechtsklick auf das graue Kästchen erhält man weitere Informationen.

Zusammenfassend gilt, dass die Wahrscheinlichkeitsangaben ein wichtiges Interpretationskriterium darstellen, und häufig eine große Aussagekraft haben. Jedoch dürfen die Werte bei der Betrachtung von Einzelaufnahmen nicht als absolutes Kriterium betrachtet werden. Mit einiger Erfahrung können mit diesen Werte jedoch sehr schnell potentielle Fehlbestimmungen aufgespürt werden.

### 3.3.2. Korrekte/vollständige Vermessung der Rufe?

In bcAdmin können die gefundenen Rufe einer Sequenz als Frequenz-Zeitverläufe angezeigt werden. In dieser Rufansicht kann man schnell durch die einzelnen Sequenzen blättern. Fehlerhaft vermessene Rufe stechen meist deutlich aus einer Rufreihe hervor. So lassen sich mögliche falsch vermessene Rufe erkennen, die zu schlechteren/falschen Bestimmungsergebnissen führen können (u.a. Abb. 9, 11 und 12).

Verschiedenste Gründe können zu fehlerhaften Messungen führen. Neben regulären Rufen können auch Echos (Abb. 11) oder Störgeräusche vermessen worden sein. Überlappt ein Rufe mit seinem Echo, kann es passieren, dass der Ruf über das Rufende hinaus vermessen wird. Dies ist insbesondere bei konstantfrequenten Lauten der Fall, die ansatzlos in ihr Echo übergehen. Bei frequenzmodulierten Rufen kann ein starkes Echo dazu führen, dass der Ruf nicht bis zum Ende dargestellt wird. Folgt das Echo einem Ruf fast ohne Verzögerung (z.B. bei Wasserfledermäusen dicht über Wasser; Abb. 14) entstehen

Amplitudenschwankungen, so genannte Schwebungen. Aufgrund dieser „Lücken“ im Rufverlauf werden diese Rufe meist nur bruchstückhaft vermessen. Der Vermessungsalgorithmus erkennt zwar kleinere Lücken und überspringt sie, fehlen jedoch zu große Stücke, wird die Rufvermessung abgebrochen. Solche kurzen Stücke sind in der Regel nicht mehr bestimmbar und werden meist als „Spec.“, also unbekannt/nicht bestimmbar Art ausgegeben. Gleicht so ein Relikt dem Ruf einer anderen Art (z.B. der Mopsfledermaus), kann dies jedoch auch zu Fehlbestimmungen führen. Eine unvollständige Vermessung von Rufen kann auch andere Gründe haben. So kann ein Ruf „zu kurz“ vermessen werden, wenn er zu leise ist. Meist fehlen in diesem Falle der Rufanfang oder das Rufende (Abb. 12). Die oben genannten Fehler können zwar teilweise vom Diskriminierungsverfahren erkannt und ignoriert werden, jedoch steigt die Rate von Fehlbestimmungen mit dem Anteil schlecht vermessener Signale. Wenn in einer Datei neben regulären Rufen auch eine größere Anzahl falscher Messungen vorliegen, führt dies u.U. dazu, dass eine zweite „Art“ in der Sequenz gefunden wird. Deshalb bietet es sich an, Aufnahmen, für die mehrere Artbestimmungen vorliegen, kurz zu überprüfen.

Meist erkennt man schon in der Rufansicht von bcAdmin diese offensichtlichen Fehlerquellen. Für eine genauere Analyse ist es jedoch manchmal notwendig, die Originaldatei als Oszillogramm und Sonagramm darzustellen. Benutzt man hierzu das Programm bcAnalyse, können im So-

nagramm die gefundenen Messwerte dargestellt werden. Dies erleichtert die Prü-

fung der Vermessungsergebnisse.

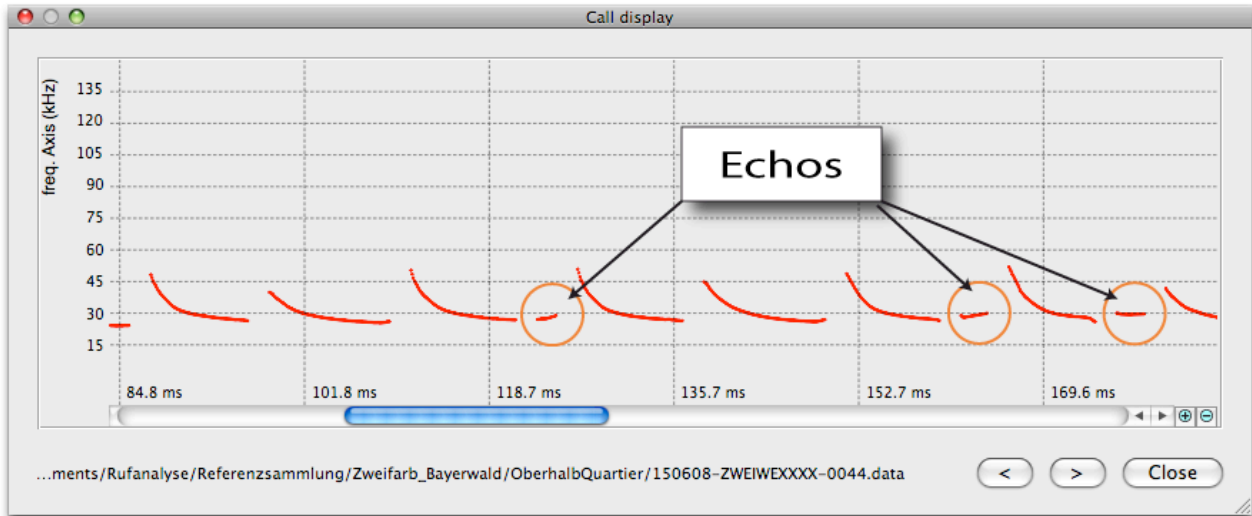


Abbildung 11: Die dargestellte Rufsequenz zeigt Beispiele für Vermessung von Echos. Da in diesem Falle jedoch genügend gut vermessene Rufe vorliegen, beeinflusst dies die Bestimmung nicht stark.

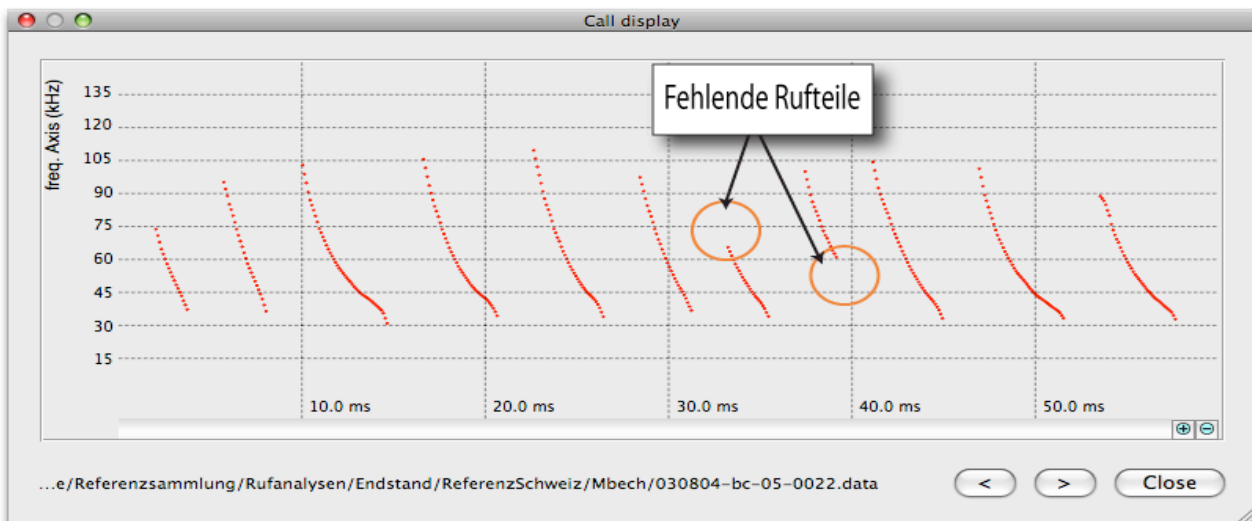


Abbildung 12: Die dargestellten Rufsequenz zeigt Beispiele für einen fehlenden Rufanfang bzw. ein fehlendes Rufende. Da in diesem Falle jedoch genügend gut vermessene Rufe vorliegen, beeinflusst dies die Bestimmung nicht stark.

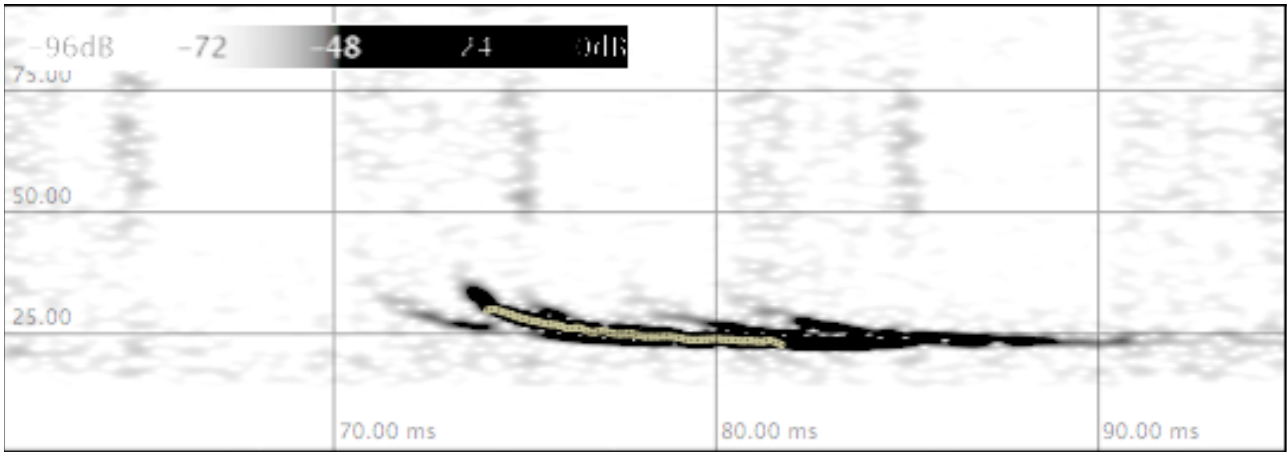


Abbildung 13: Sonagramm eines Rufes, der durch überlappende Echos bei der automatischen Rufvermessung nicht komplett vermessen werden kann. Die weißen Punkte innerhalb des Rufes, zeigen den vermessenen Rufverlauf.

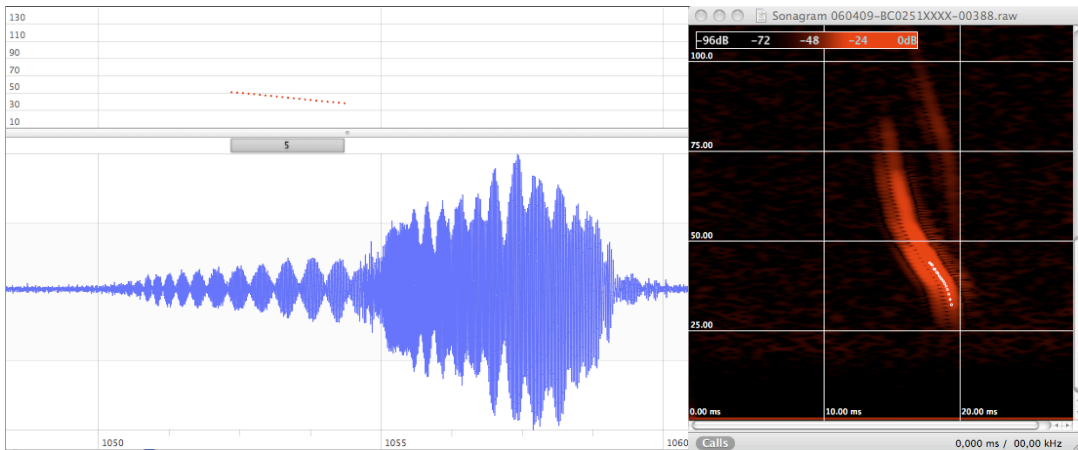


Abbildung 14: Oszillogramm und Sonagramm des Rufes einer Wasserfledermaus, die über einem Weiher jagt. Im Oszillogramm erkennt man Amplitudenschwankungen, so genannte Schwebungen. Sie entstehen, wenn das Echo stark mit dem Ruf überlappt. Im Sonagramm erkennt man auch, dass Ruf und Echo fast komplett „verschmelzen“. Über dem Oszillogramm bzw. als weiße Punkte im Sonagramm ist der Rufverlauf zu sehen, den bcAdmin in diesem Ruf gefunden hat. Man erkennt gut, dass nur ein kleines Bruchstück gefunden und vermessen wurde.

### 3.3.3. Lautstärke

Generell gilt, dass ein Ruf meist umso besser vermessen werden kann, je lauter er ist. Besonders bei frequenzmodulierten Rufen (z.B. der Gattung *Myotis*) sind die Anfänge der Rufe meist nur sehr leise und werden bei Aufnahmen mit geringer Aussteuerung nicht mehr erkannt. Hierdurch

ändern sich z.B. Parameter wie Startfrequenz und die Länge des Rufes. Deshalb ist die Lautstärke des Rufes ein mögliches Kriterium für seine Güte und die Qualität der Vermessung. Eine Überprüfung kann z.B. in der Oszillogrammansicht in bcAnalyse erfolgen. Liegen in einer Sequenz nur

wenige und leise Rufe vor, ist das Ergebnis im Durchschnitt weniger verlässlich.

### 3.3.4. Sozialrufe

Die automatische Bestimmung kann, wie beschrieben, nur solche Rufe sinnvoll verarbeiten, für die sie trainiert worden ist. Rufe, die im Repertoire nicht vorhanden waren, stellen den Algorithmus vor ein Problem. Während eine umfangreiche Sammlung von Ortungsrufe ins Training einging, fehlen Sozialrufe beinahe gänzlich (Ausnahme sind die Pipistrellen bei batlident). Sozialrufe werden jedoch im Habitat nur sehr selten aufgezeichnet. Dennoch gibt es Standorte (Quartiere) und Phasen im Jahr (Balzzeit), in denen eine große Menge von diesen aufgezeichnet werden können.

Es gilt verschiedene Typen von Rufen in Bezug auf deren Komplexität zu unterscheiden. Neben einfachen Sozialrufen, die nur ein Element beinhalten, sind viele Ruftypen komplex und aus mehreren Elementen zusammengesetzt. Erstere können in der Regel gut vermessen werden und einzig Überlappung mit Echos stellt ein größeres Problem dar. Andere bestehen aus Elementen, die in verschiedenen Kombination und Wiederholungen aneinander gereiht werden. Diese sind automatisch nur sehr schwierig zu vermessen. Auch ist die statistische Analyse schwieriger, da ganz andere Parameter (besonders der zeitlichen Abfolge) zur Bestimmung herangezogen werden müssen. Die Struktur oder Silbe, die als typisch vom menschlichen Betrachter erkannt wird, kann häufig nicht automatisch extrahiert

werden. Noch schwieriger gestalten sich Rufe, die mit größerem zeitlichen Abstand abgegeben werden und so nur als Einzelrufe erkannt werden.

Weiterhin weisen manche Sozialrufe eine extreme intraspezifische Variabilität auf. Andere Sozialrufe werden in ähnlicher Form von sehr vielen Arten genutzt (z.B. so genannte „Triller“). All dies führt dazu, dass eine Diskriminierung in der Regel nur schwer möglich ist. Hier bleibt damit meist nur die manuelle Nachkontrolle. Hierbei kann insbesondere der beschriebene zeitliche Aspekt der Aufnahmen (zeitliche Abfolge der Aufnahmen) zur Hilfe bei der Artzuordnung herangezogen werden. Werden innerhalb von zeitlich zusammen gehörenden Aufnahmen immer wieder einzelne Sequenzen an Hand aufgezeichneter Ortungsrufe richtig bestimmt, können die dazwischen liegenden Aufnahmen leichter einer Art zugeordnet werden.

Jedoch werden bei Untersuchungen nur selten Sozialrufe in größerer Zahl aufgenommen. Ein Beispiel einer umfangreichen Untersuchung mit automatischer Erfassung und Analyse ist die zweijährigen Erfassung im Rahmen der Promotion von Dr. Volker Runkel. Dabei wurden z.B. bis zu 75% aller Aufnahmen als Sozialrufe der Mückenfledermaus im August erfasst, in den anderen Monaten lagen diese deutlich unter 25% der Aufnahmen. Meist waren auch ausreichend viele Ortungsrufe in den Aufnahmen vorhanden, so dass eine Bestimmung unkritisch war. Für die Gattung *Myotis* lag der Anteil von Aufnahmen mit Sozialrufen bei  $\ll 1\%$  der Aufnahmen. Für die Bestimmung der anwesenden Arten durch automatische Verfahren spielen So-



zialrufe daher meist nur eine untergeordnete Rolle; Fehler sind aufgrund der geringen Anteils nicht so kritisch.

### 3.3.5. Manuelle Nachbestimmung anhand Rufform und verschiedenen messbaren Parametern

Bei der Analyse von Rufen am Computer werden z.B. in einem Sonagramm manuell oder halbautomatisch verschiedene Messwerte extrahiert und zur Artanalyse herangezogen. Als Referenz dienen veröffentlichte Messwerte und eigene Erfahrungen. Auch die Rufform, die eher subjektiv erfasst und beschrieben wird, ist meist ein wichtiges Kriterium für die Entscheidung.

Die Rufe beinahe aller Arten sind jedoch variabel und werden der Umgebung, der momentanen Aufgabe sowie der Flugsituation angepasst. Deshalb reichen häufig einzelne Parameter wie z.B. die Endfrequenz für eine Beurteilung nicht aus. Es müssen verschiedene Parameter und deren „Zusammenspiel“ betrachtet werden. Der menschliche Bearbeiter stößt hierbei schnell an Grenzen. Liegen gut vermessene Rufe vor, ist die statistische Artanalyse der manuellen meist weit überlegen. Die manuelle Nachbestimmung ist gut anwendbar, um die automatischen Nachweise einzelner, leicht zu bestimmender Arten zu verifizieren. Des Weiteren findet sie ihren Einsatz bei Rufsequenzen, die nicht sauber vermessen werden konnten oder in denen Sozialrufe vorliegen. Grundsätzlich hat bei der manuellen Nachbestimmung die Erfahrung (und in gewissem Maße auch das „Talent“) des Bearbeiters einen starken Einfluss darauf, welche Arten mit welcher Sicherheit bestimmt werden können.

Es ist wichtig, sich nicht zu überschätzen und im Zweifelsfalle Sequenzen nicht oder nur auf niedrigem Niveau zu bestimmen.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Einschätzung der Schwierigkeitsstufen der manuellen Nachbestimmung mitteleuropäischer Fledermausrufe:

#### Schwierigkeitsstufen:

- \* Laie I: Problemlos und eindeutig auch für Laien
- \*\* Laie II: Problemlos und eindeutig nach Einarbeitung
- \*\*\* Experte I: Zum Großteil problemlos und eindeutig, es existieren jedoch Überschneidungsbereiche
- \*\*\*\* Experte II: Zum Großteil schwierig - manche Ruftypen jedoch sicher bestimmbar
- \*\*\*\*\* Experte III: Sehr schwierig - nur tendenziell und/oder auf niedrigem Niveau möglich

| Art/Gruppe                       | Schwierig- |
|----------------------------------|------------|
| <i>Rhinolophus hipposideros</i>  | *          |
| <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> | *          |
| Gattung <i>Plecotus</i>          | ***        |
| <i>Barbastella barbastellus</i>  | **         |
| <i>Vespertilio murinus</i>       | *****      |
| <i>Nyctalus noctula</i>          | ***        |
| <i>Nyctalus leisleri</i>         | ****       |
| <i>Eptesicus serotinus</i>       | ****       |
| <i>Eptesicus nilssonii</i>       | ***        |
| <i>Hypsugo savii</i>             | **         |
| <i>Pipistrellus kuhlii</i>       | ***** (**) |
| <i>Pipistrellus nathusii</i>     | ***** (**) |
| <i>Pipistrellus pipistrellus</i> | **         |
| <i>Pipistrellus pygmaeus</i>     | **         |
| <i>Myotis myotis</i>             | ***        |
| <i>Myotis alcathoe</i>           | ***        |



|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| <i>Myotis dasycneme</i>           | ***  |
| <i>Myotis bechsteinii</i>         | **** |
| <i>Myotis nattereri</i>           | ***  |
| <i>Myotis brandtii/mystacinus</i> | **** |
| <i>Myotis daubentonii</i>         | ***  |
| <i>Myotis emarginatus</i>         | **** |

Dieser Text soll und kann keinen Überblick über Rufparameter und die Charakteristika der Rufe der mitteleuropäischen Arten liefern. Hierzu existieren verschiedene Quellen, die darauf ausführlich eingehen. Besonders sei auf Handreiche „Kriterien für

die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen“ die von den Koordinationsstellen für Fledermausschutz in Bayern in Zusammenarbeit mit der NycNoc GmbH und der ecoObs GmbH erarbeitet wurde und auch speziell auf die Nachbestimmung von batcorder-Aufnahmen eingeht. Sie ist unter der URL: „[http://www.ecoobs.de/downloads/Kriterien\\_Lautzuordnung\\_10-2009.pdf](http://www.ecoobs.de/downloads/Kriterien_Lautzuordnung_10-2009.pdf)“ abrufbar.

Eine weitere gute Quelle ist die Site <http://batecho.eu> unter der Betreuung von Arjan Boonman.

## 4. Zusammenfassende Empfehlungen für die Überprüfung

Empfohlene Vorgehensweise für die überwachte automatische Analyse

- Artbestimmungen, basierend auf einer oder wenigen Sequenzen grundsätzlich überprüfen.
- Seltene oder nicht erwartete Arten immer überprüfen.
- Schlecht vermessene Rufe, Sozialrufe oder Störsignale mit der Call-Ansicht von bcAdmin identifizieren.
- Bringt die Ansicht der Messwerte in bcAdmin keine Klärung, kann man die Sequenzen mit anderen Programmen als Sonogramm begutachten
- Fragliche Sequenzen können auch einzeln von bcDiscriminator bestimmt werden, um detailliertere Analyseergebnisse zu erhalten
- Artzuweisungen einzelner Sequenzen innerhalb eines Blocks von Aufnahmen ähnlich rufender Arten im Zweifelsfall ignorieren.
- Je weniger Rufe, desto größer ist die Fehlerwahrscheinlichkeit.
- Je leiser die Rufe, desto größer ist die Fehlerwahrscheinlichkeit.
- Die Fehlerwahrscheinlichkeit ist größer, je mehr Arten in einer Sequenz bestimmt wurden
- Bei der manuellen Nachbestimmung den eigenen Kenntnisstand realistisch einschätzen

## 4.1. Bekannte Fehlerquellen

- sehr kurze Rufe von *Pipistrellus pipistrellus* und *P. pygmaeus* werden manchmal als *Myotis alcathoe* zugewiesen (meist als zweite Art!).
- Selbiges gilt für Bruchstücke der Rufe verschiedener *Myotis*-Arten.
- Die Endstücke leiser *Myotis*-Rufe werden ebenso wie kurze Bruchstücke anderer Arten manchmal als Mopsfledermaus bestimmt.
- *Myotis bechsteinii* wird schlecht erkannt und meist nur bis zur Gruppe „Mkm“ (*Myotis* klein/mittel) bestimmt
- Rufe von Fledermäusen über Wasser werden aufgrund der starken Echos meist nicht vollständig vermessen. Die resultierenden Bruchstücke können zu verschiedenen Fehlbestimmungen führen.
- Kurze Rufe von Nyctaloiden-Arten sind unspezifisch und werden meist nur auf Gattungs-/Gruppenniveau bestimmt bzw. falsch bestimmt.
- Stücke von Echos nyctaloid rufender Arten können als Pipistrelloid (Soziallaute) oder als Bbar (tritt selten auf ) fehlbestimmt werden
- *Vespertilio murinus* ist schwer zu bestimmen und wird häufig nur auf Niveau Nycmi bestimmt. Verwechslungen mit allen anderen nyctaloid rufenden Arten treten auf
- Es existiert ein Überschneidungsbereich der Rufe von *Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus* und *Miniopterus schreibersi*. Solche Rufe werden meist nur auf Niveau Phoch bestimmt. Verwechslungen der drei Arten treten aber auch auf (in ca. 2% der Fälle).
- *P. nathusii* und *P. kuhlii* rufen extrem ähnlich. Die Analyseergebnisse sind hier nur als Anhaltspunkt zu verstehen (ca. 20% Fehlerwahrscheinlichkeit).

Weiterhin gibt es Fehler, die bei den verschiedenen Software-Version auftreten können. Diese sind:

### Typische Fehler von bcDiscriminator

- Sozialrufe der Gattung *Pipistrellus* werden nicht erkannt und meist als „Spec.“ aber auch als „nyctaloid“ oder „Nnoc“ bestimmt

### Typische Fehler von batIdent

- Wasserfledermaus/Teichfledermausrufe werden als *Hypsugo savii* erkannt
- *Nyctalus leisleri* wird manchmal als *Eptesicus nilssonii* bestimmt
- Rufe von *Tadarida teniotis* werden manchmal als Sozialrufe von *Pipistrellus*-Arten erkannt

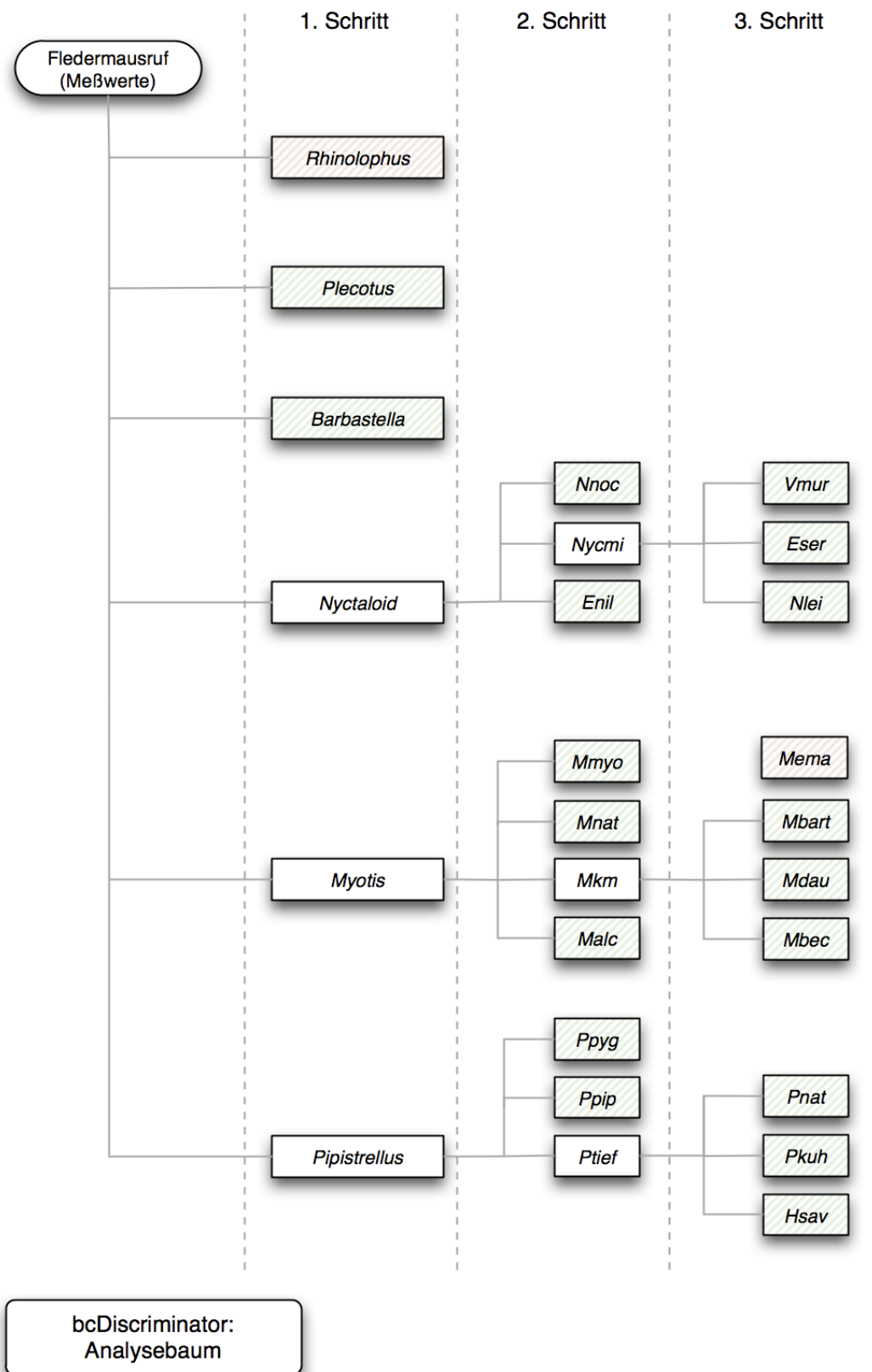
## 5. Literatur

- Ahlén, I. & H. J. Baagoe (1999). „Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring.“ *Acta Chiropterologica* 1(2): 137-150.
- Ahlén, I. (1981). Identification of Scandinavian Bats by their sounds. Uppsala, Dept. Wildlife.
- Ahlén, I. (1990). Identification of bats in flight, Swedish society for conservation of nature.
- Barclay, R. M. R. (1999). „Bats are not birds - a cautionary note on using echolocation calls to identify bats: a comment.“ *Journal of Mammology* 80(1): 290-296.
- Breiman, L. (2001). „Random Forests.“ *Machine Learning* 45(1): 5-32.
- Fenton, M. B. (1988). Detecting, recording, and analyzing vocalizations of bats. Ecological and behavioral methods for the study of bats. T. H. Kunz. Washington D.C., Smithsonian Institution Press.
- Fenton, M. B. & G. P. Bell (1981). „Recognition of insectivorous bats by their echolocation calls.“ *Journal of Mammology* 62(2): 233-243.
- Herr, A., N. I. Klomp & J. S. Atkinson (1997). „Identification of Bat Echolocation Calls Using a Decision Classification System.“ *Complexity* 4: 11.
- Jones, G., N. Vaughan & S. Parsons (2000). „Acoustic identification of bats from directly sampled and time expanded recordings of vocalizations.“ *Acta Chiropterologica* 2(2): 155-170.
- O'Farrell, M. J. & B. W. Miller (1999). „Use of vocal signatures for the inventory of free-flying neotropical bats.“ *Biotropica* 31(3): 507-516.
- O'Farrell, M. J., B. W. Miller & W. L. Gannon (1999). „Qualitative Identification of free-flying Bats using the Anabat Detector.“ *Journal of Mammology* 80(1): 11-23.
- Obrist, M. K., R. Boesch & P. F. Flückiger (2004). „Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergistic pattern recognition approach.“ *Mammalia* 68(4): 307 - 321.
- Parsons, S. & G. Jones (2000). „Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks.“ *Journal of Experimental Biology* 203(17): 2641-2656.
- Russo, D. & G. Jones (2002). „Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls.“ *Journal of Zoology London* 258(1): 91-103.
- Rydell, J., H. T. Arita & J. Granados (2002). „Acoustic identification of insectivorous bats (order Chiroptera) of Yucatan, Mexico.“ *Journal of Zoology London* 257: 27-36.
- Tibbels, A. (1999). „Do Call Libraries Reflect Reality?“ *Bat Research News* 40(4): 153-155.
- Vaughan, N., G. Jones & S. Harris (1997). „Identification of british bat species by multivariate analysis of echolocation call parameters.“ *Bioacoustics* 7: 189-207.
- Weid, R. (1988). „Bestimmungshilfe für das Erkennen europäischer Fledermäuse - insbesondere anhand ihrer Ortungsrufe.“ *Schriftenreihe Bayr. Landesamt für Umweltschutz* 81: 63-72.
- Weid, R. & O. v. Helversen (1987). „Ortungsrufe europäischer Fledermäuse beim Jagdflug im Freiland.“ *Myotis* 25: 5-27.
- Zingg, P. E. (1990). „Akustische Artidentifikation von Fledermäusen (Mammalia: Chiroptera) in der Schweiz.“ *Revue suisse Zool.* 97(2): 263-294.

# Anhang I - confusion-table von bcDiscriminator 1

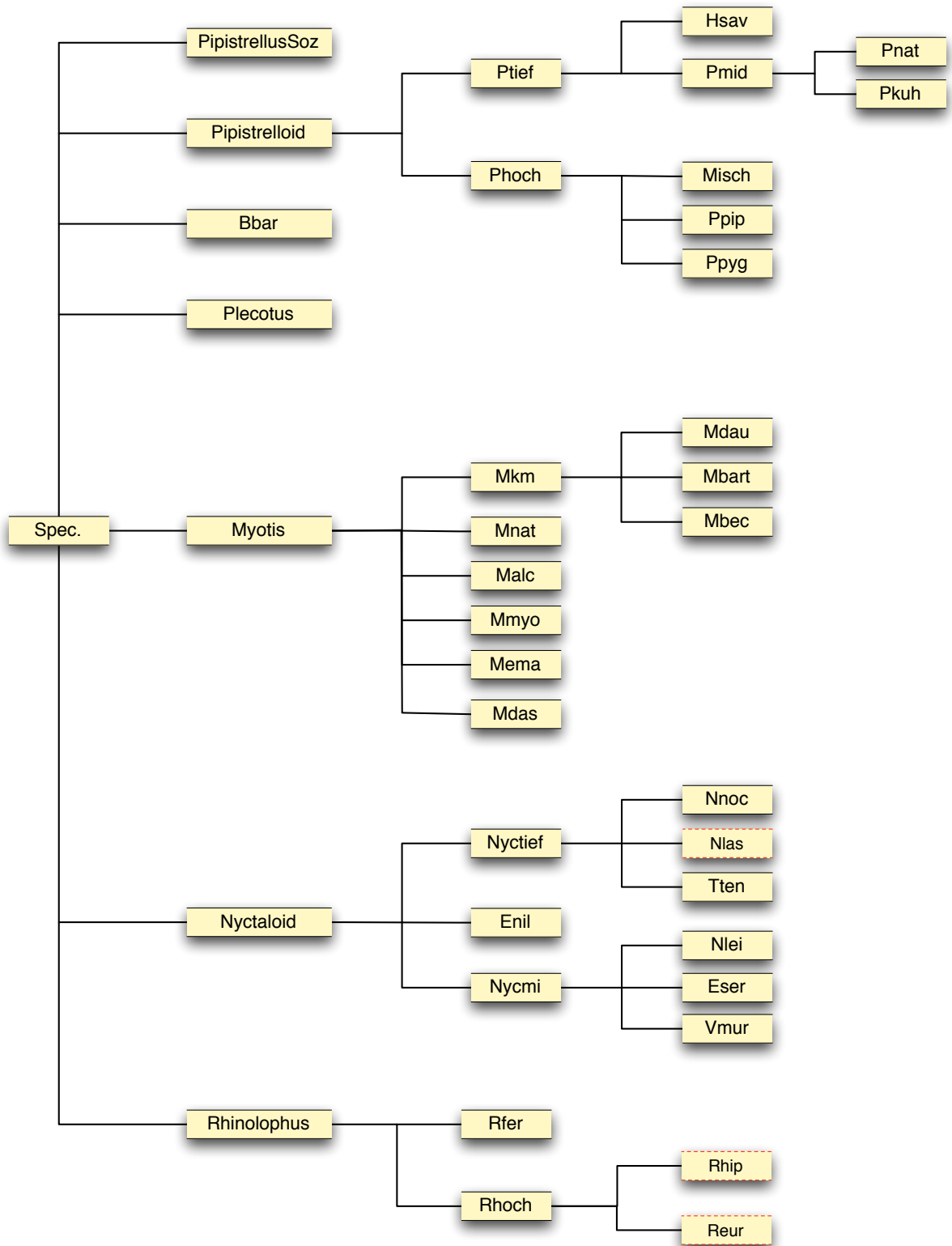
| observed            | predicted |       |       |       |       |      |       |       |      |       |      |       |       |        | Falsch-negativ Rate | n     |       |       |      |      |      |
|---------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|--------|---------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
|                     | Plisp     | Bbar  | Maic  | Mbart | Mbec  | Mdau | Mmyo  | Mnat  | Enil | Eser  | Nlei | Nnoc  | Vmur  | Hsav   |                     |       | Pkuh  | Pnat  | Ppip | Ppyg |      |
| Plisp               | 100,00    | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 101  |
| Bbar                | 0,00      | 99,49 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,51 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 583  |
| Maic                | 0,00      | 0,00  | 98,70 | 0,43  | 0,65  | 0,22 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 461  |
| Mbart               | 0,00      | 0,00  | 1,03  | 85,94 | 5,97  | 5,28 | 0,07  | 1,71  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 1458 |
| Mbec                | 0,00      | 0,00  | 2,52  | 4,07  | 91,09 | 0,19 | 0,00  | 2,13  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 516  |
| Mdau                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,30  | 6,89  | 1,83 | 89,79 | 0,15  | 1,07 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 656  |
| Mmyo                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,12  | 0,00 | 92,52 | 7,23  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 816  |
| Mnat                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,77  | 0,15 | 0,31  | 98,77 | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 651  |
| Enil                | 0,00      | 0,00  | 0,54  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,41  | 96,61 | 0,00 | 1,36  | 0,14 | 0,00  | 0,95  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 737  |
| Eser                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,18  | 0,00  | 1,26 | 95,51 | 1,80 | 0,72  | 0,54  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 1114 |
| Nlei                | 0,94      | 1,89  | 0,00  | 0,31  | 0,47  | 0,00 | 0,47  | 0,00  | 4,57 | 89,76 | 0,31 | 0,94  | 0,31  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 635  |
| Nnoc                | 0,63      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,94  | 1,26 | 95,60 | 1,57  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 318  |
| Vmur                | 0,83      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,83 | 0,83  | 1,65 | 0,41  | 95,45 | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 242  |
| Hsav                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 100,00 | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 272  |
| Pkuh                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,25   | 99,75               | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 406  |
| Pnat                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,15  | 0,46  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,46   | 4,28                | 94,04 | 0,61  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 654  |
| Ppip                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,10  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,21  | 99,69 | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 966  |
| Ppyg                | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00                | 0,00  | 0,00  | 99,13 | 0,00 | 0,00 | 458  |
| Falsch-positiv Rate | 2,40      | 2,43  | 4,98  | 12,26 | 9,81  | 5,85 | 1,59  | 12,14 | 6,65 | 1,77  | 6,58 | 1,58  | 3,06  | 1,97   | 4,28                | 0,21  | 0,61  | 0,00  | 0,00 | 0,00 |      |

## Anhang 2 - Entscheidungsbaum von bcDiscriminator 1



Analyse

### Anhang 3 - Entscheidungsbaum von batldent



Analyse