

## **Ein mathematisches System zur grafischen Analyse von Wiederfunden beringter Vögel**

Klaus-Dieter Feige; Ulrich Köppen

### **Zusammenfassung**

Die räumliche und zeitliche Verteilung von Ringfunden liefert wichtige Informationen über die Ökologie von Vogelpopulationen. Entsprechende Untersuchungen am Höckerschwan können auf ein umfangreiches Ringfundmaterial zurückgreifen, welches jedoch bei spezieller Aufgliederung eine Vielzahl schwer differenzierbarer Fundbilder ergibt. Es wird eine mathematische Methode zur Glättung solcher zweidimensionalen Fundverteilungen vorgestellt. Die resultierenden Linien gleicher mittlerer Fundhäufigkeit stellen das Wesen der Fundverteilung klarer heraus als die Originaldaten. Die dadurch verbesserten Interpretationsmöglichkeiten werden an Beispielen demonstriert.

### **Graphical smoothening method for the analysis of frequency distributions regarding recovery data of ringing birds**

Distribution in space and time of ring recoveries supplies essential information on the ecology of bird populations. Corresponding researches concerning the Mute swan can be based on an ample stock of ring recoveries which under special classification, however, results in a multiple of recovery figurations, difficult to differentiate. A mathematical method for smoothening such two-dimensional distributions of recoveries is being introduced. The resulting lines of same average frequency of recovery are clearer illustrating the nature of recovery distribution than the original data. The thereby improved possibilities for interpretation are demonstrated by examples.

### **1. Problemstellung**

Die Dynamik von Vogelpopulationen\* steht in enger Beziehung zum Raum-Zeit-Verhalten ihrer Individuen. Die Wiederfunde beringter Vögel können daher zur Aufklärung der Ursachen für diese Dynamik beitragen, indem sie eine Vorstellung von den geografischen Aktionsräumen der Population liefern oder die spezifische Raumnutzung bestimmter Individuengruppen sichtbar machen.

Ringfundausswertungen nach solchen Gesichtspunkten werden auch im Rahmen von populationsökologischen Untersuchungen am Höckerschwan (*Cygnus olor*) in der DDR angestrebt. Diese Vogelart wurde während ihrer starken Bestandszunahme in den vergangenen Jahrzehnten (z. B. RUTSCHKE, 1987), entsprechend einer seinerzeitigen Orientierung der Beringungszentrale, recht häufig beringt. Für die o. g. Untersuchungen steht damit an der Vogelwarte Hiddensee ein umfangreiches Wiederfundmaterial zur Verfügung, das an anderer Stelle näher beschrieben wird (KÖPPEN, BENECKE, i. Vorb.). Dieses Material kann nach verschiedensten ökologischen Gesichtspunkten gegliedert werden und bietet so vergleichsweise gute Möglichkeiten, das Raum-Zeit-Verhalten unserer Höckerschwäne differenziert zu erfassen.

---

\* Der Begriff Population wird hier in seinem allgemeinen Bezug gebraucht, meint also die Gesamtheit der Individuen im betrachteten Raum und Zeitabschnitt

Der dazu notwendige Vergleich der Fundverteilungen von Vögeln unterschiedlicher geografischer Herkunft, unterschiedlichen Geschlechts oder Alters bereitet jedoch, nicht nur beim Höckerschwan, erhebliche Schwierigkeiten. Allgemein übliche Darstellungsformen solcher Fundverteilungen, etwa als Punktwolke auf geografischen Karten oder innerhalb eines Entfernungs-Richtungs-Kreuzes mit dem Beringungsort im Mittelpunkt (Abb. 1), sind an sich schon schwer überschaubar, noch viel weniger aber auf Unterschiede zu anderen Fundverteilungen hin zu überprüfen. Auch übliche Methoden der Informationsverdichtung vermitteln, besonders bei weit und unregelmäßig streuenden Fundverteilungen, ein wenig anschauliches und kaum vergleichbares Bild von der Flächenverteilung der Funde.

Die Suche nach grafischen Darstellungsformen, die in der Lage sind, typische Höckerschwan-Fundverteilungen anschaulich und untereinander differenzierbar zu machen, führte zu folgenden Überlegungen.

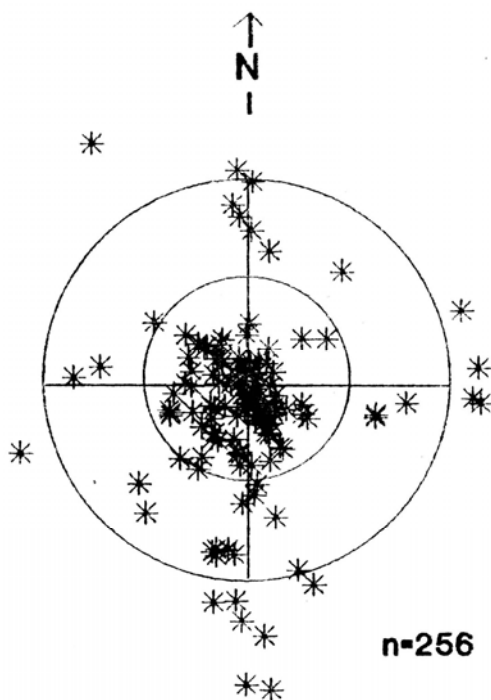


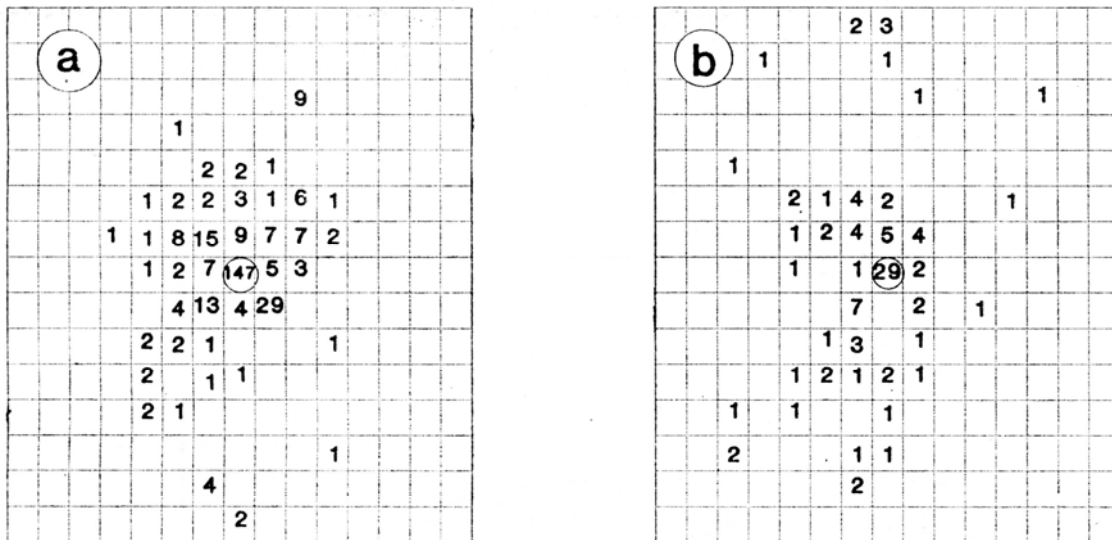
Abb. 1

Typische Verteilung von Höckerschwan-Lebendfunden im Entfernungs-Richtungs-Kreuz (Mittelpunkt = fiktiver gemeinsamer Beringungsort der Ringvögel). Die Kreise bezeichnen den 100- bzw. 200-km-Bereich um den Beringungsort.

## 2. Methode

Bei der Auswertung von Informationen stützt sich das menschliche Gehirn am stärksten auf den Sehsinn. Trotz gleichen Informationsgehaltes können z. B. die Zahlen einer Tabelle nicht genauso schnell und sicher zu Schlußfolgerungen geführt werden, wie das mit einem entsprechenden Diagramm oder Kurvenzug möglich ist. Viele Auswertungsverfahren der mathematischen Statistik erfreuen sich deshalb einer großen Beliebtheit, weil sich deren Ergebnisse grafisch veranschaulichen lassen. Neben der Cluster-, Diskriminanz- und Regressionsanalyse zählen dazu auch Glättungsverfahren, die die zufällig bedingten, sprunghaften Unterschiede in Datenwolken abbauen. Als solche Datenwolken sind auch die Fundverteilungen beringter Vögel anzusehen, wenn sie etwa dem in Abbildung 1 gezeigten Typ entsprechen.

Ein Verfahren zur Glättung derartiger, zweidimensional verteilter Beobachtungsdaten bzw. Häufigkeiten ist die Methode der gewichteten Flächenmittel (FEIGE, 1984). Obwohl zunächst zur numerischen Differenzierung von Siedlungsdichtedaten verwendet, kann das Verfahren analog auf den geschilderten Problemkreis angewendet werden.



n=311

n=94

Abb. 2: Die Aufteilung der Lebendfunde von diesjährig im Bezirk Frankfurt/O. beringten Höckerschwänen auf 20 X 20-km-Rasterfelder rund um den Beringungsort; a: im I. Winter, b: in allen folgenden Brutzeiten

Die Grundidee dieses Verfahrens besteht darin, daß Beobachtungswerte, in unserem Fall Wiederfunde, zunächst in die Felder eines gerasterten Kontrollraumes als Häufigkeiten eingeordnet werden. Die Abbildungen 2a und 2b zeigen dies für reale Fundverteilungen in der DDR beringter Höckerschwäne, wobei die Mitte des zentralen Rasterfeldes den Beringungsort darstellt. Der geglättete Häufigkeitswert jedes einzelnen Feldes ergibt sich nun aus dem Mittelwert der Häufigkeiten der umgebenden Felder. Der Grad der Glättung der Originaldaten hängt damit davon ab, wie groß die Umgebung des einzelnen Feldes gewählt wird, d. h. wie viele Umgebungsfelder in die Mittelwertbildung einbezogen werden.

Darüber hinaus hängt der Glättungsgrad von Gewichtungsfaktoren ab, mit denen die Häufigkeiten der umgebenden Felder, entsprechend ihres Abstandes vom betrachteten Feld, zu multiplizieren sind. Auf diese Weise läßt sich die Glättung der Originaldaten dem jeweils erforderlichen Genauigkeitsgrad bei der Abbildung der Verteilung anpassen. Die grafische Umsetzung der so errechneten Häufigkeiten geschieht durch Linien, die innerhalb des Kontrollraumes Felder gleichen Glättungsmittelwertes verbinden. Als Maßzahlen der Glättungsmittelkarte werden die mittleren Polarkoordinaten der Wiederfundsdrift  $\alpha$  und  $\Delta$  sowie der Regressionskoeffizient  $r$  (Korrelation zwischen geografischer Längen- und Breitendifferenz von Beringungs- und Wiederfundort) errechnet.

Der Begriff **Wiederfundsdrift** bezeichnet dabei die spezifische Anordnung der Funde in Bezug auf den Beringungsort, nicht etwa Ortsveränderungen der Ringvögel.

Einzelheiten des mathematischen Verfahrens sind dem Anhang zu entnehmen.

### 3. Anwendung

Vor der Auswertung von Fundverteilungen mittels der Methode der gewichteten Flächenmittel ist zunächst der Grad der Glättung festzulegen, der dem Charakter der Daten sowie der verfolgten Aufgabenstellung am besten entspricht. Dabei spielt die Wahl von  $u$  als Kennzahl für die Größe der in die Mittelwertbildung einbezogenen Umgebung (s. Anhang), eine wichtige Rolle. In den Abbildungen 3a bis 3c sind die Glättungsmittelkarten der in Abbildung 2a gezeigten Fundverteilung für unterschiedliche  $u$  dargestellt. Die mit  $u$  wachsende Glättung der Originaldatenunterschiede ist leicht erkennbar und ergab nach Meinung der Autoren bei  $u = 3$  eine problemrelevante Genauigkeit. Die Abbildung 4 zeigt die  $f(i,j)$ -Profile, die sich entlang der Hilfslinien in den Glättungsmittelkarten für unterschiedliches  $u$  ergeben.

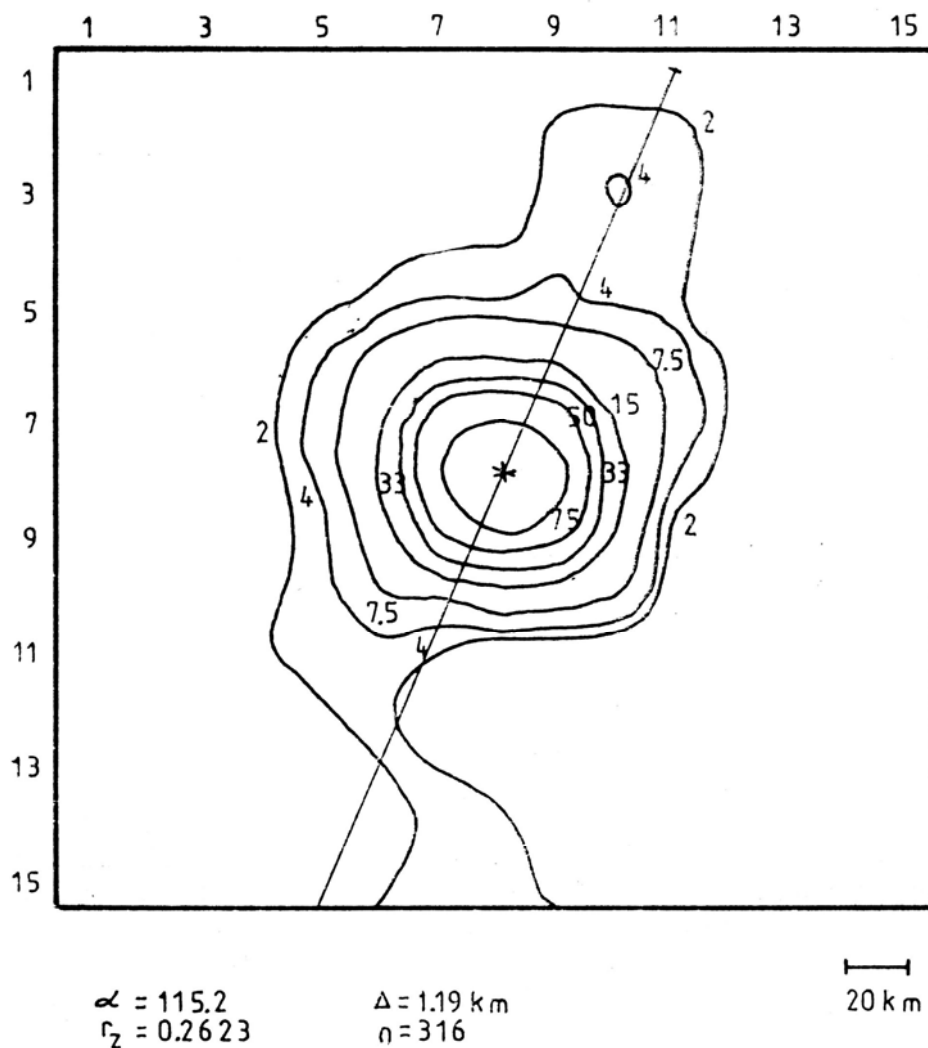


Abb. 3a: Glättungsmittelkarte der Fundverteilung der Abbildung 2a bei  $u = 2$

Unter Beibehaltung von  $u = 3$  wurden weitere Fundverteilungen von Höckerschwänen der Glättung unterzogen und in den Abbildungen 5 bis 7 grafisch dargestellt. Zu diesen Abbildungen ist anzumerken, daß die Auswahl der zugrundeliegenden Beringungsgruppen und Wiederfundzeiträume während einer ersten Sichtung der Lebendfunde in der DDR beringter Höckerschwäne erfolgte. Die geografische Gruppierung der Beringungen ist daher eher geeignet, Anregungen für angepaßtere Gruppierungen zu ge-

winnen, als konkrete Schlußfolgerungen zur Biologie der Art abzuleiten. Auf diese Weise können die Potenzen der vorgestellten Methode zur Informationsverdichtung, besonders beim Vergleich verschiedener Fundverteilungen, hier nur grob umrissen werden.

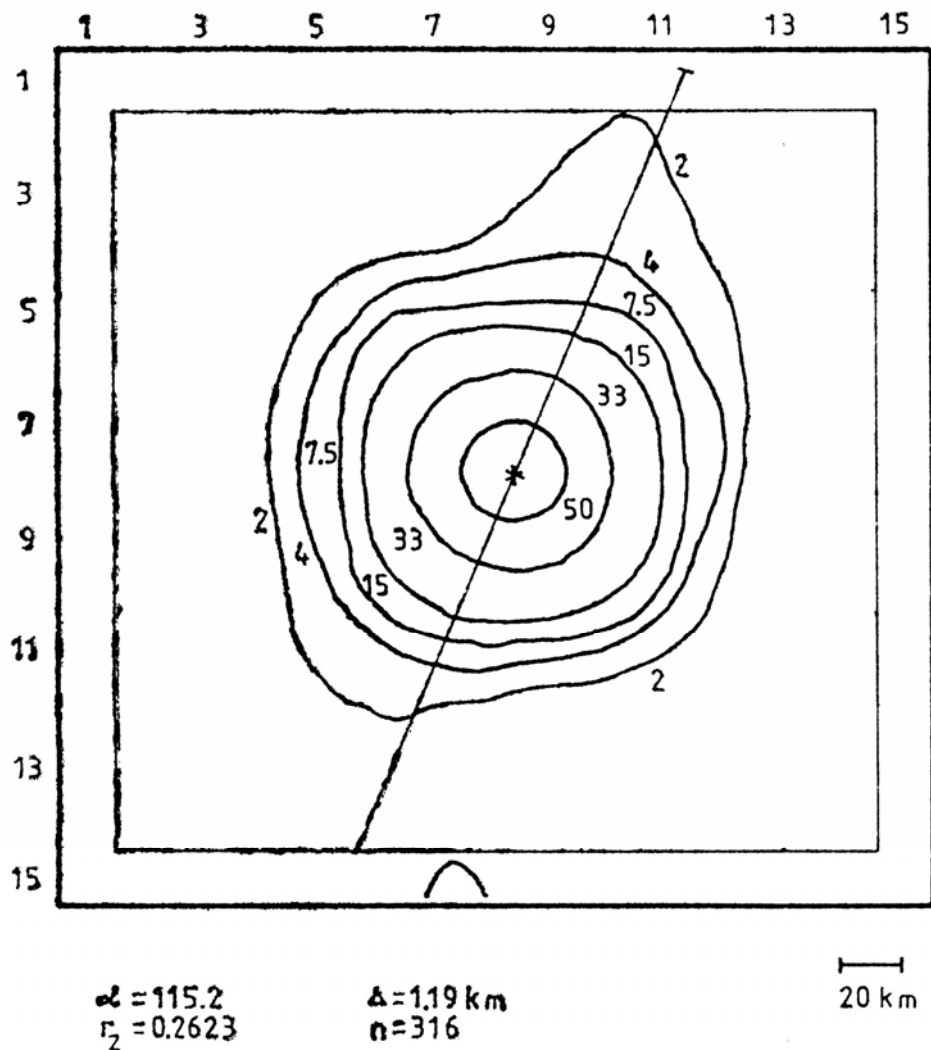


Abb. 3b: Glättungsmittelkarte der Fundverteilung der Abbildung 2a bei  $u = 3$

Die Projektion der Wiederfunde von Ringvögeln eines größeren Gebietes auf einen gemeinsamen Beringungsort im Zentrum der Darstellung ist bei der Interpretation der Abbildungen zu beachten. Je größer das berücksichtigte Beringungsgebiet, desto mehr wird von gebietspezifischen Einflüssen auf die Fundverteilung abstrahiert und kommt ein für das Beringungsgebiet und den Fundzeitraum verallgemeinertes Fundbild zum Vorschein. Umgekehrt zeichnen sich bei engerem Gebietsbezug die speziellen Fundbedingungen im gemeinsamen Umfeld der Beringungsorte stärker ab.

Die in diesem Sinne allgemeinste Aussage liefert die Abbildung 5, da sie Funde\*\* von Vögeln zusammenfaßt, die in der gesamten DDR beringt wurden. Dabei heben sich lokale Verteilungsbesonderheiten zum Teil auf, so daß sich eine in etwa konzentrische

\*\* Lebendfunde desselben Tieres wurden generell nur dann berücksichtigt, wenn sie sich im Funddatum um mehr als 30 Tage und/oder in der Entfernung zum Beringungsort um mehr als 20 km unterschieden.

Entfernungs-Richtungs-Verteilung dieser Funde ergibt. Zwar konnte eine solche Anordnung grob bereits den Originaldaten entnommen werden, die Westorientierung der Funde im größeren Entfernungsbereich ist aber erst mit Hilfe der Glättungsmittelkarte quantifizierbar. Es bietet sich nun an, die Ursachen für diese Orientierung, z. B. durch den Vergleich regionaler Fundverteilungen, zu suchen und damit die Allgemeingültigkeit dieser Erscheinung zu überprüfen.

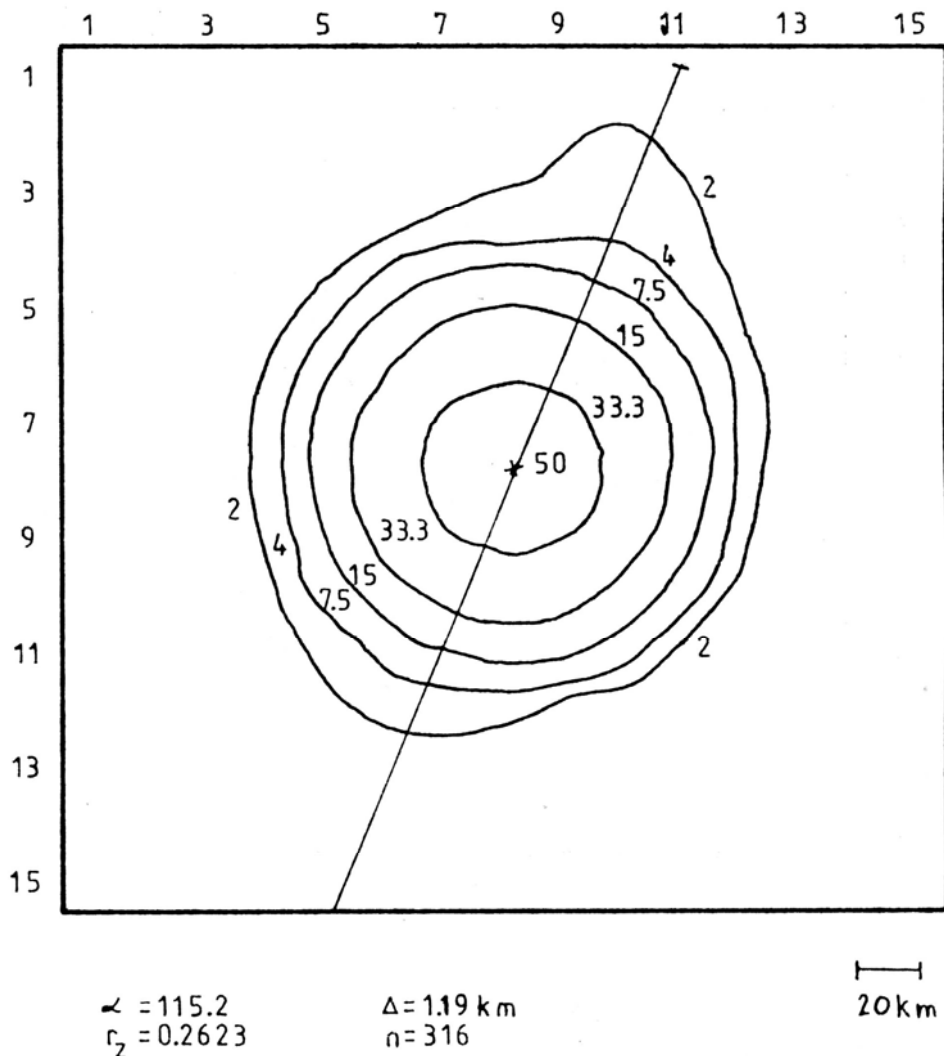


Abb. 3c: Glättungsmittelkarte der Fundverteilung der Abbildung 2a bei  $u = 4$

Die Abbildung 6 faßt die Funde von im Bezirk Dresden beringten Höckerschwänen zusammen. Bei dem hier kleineren Bezugsgebiet läßt sich die räumliche Verteilung der Funde um den Beringungsort eher den geografischen Gegebenheiten in der Region zuordnen. In allen Entfernungsbereichen drücken sie sich offenbar in einer leichten Südwestverschiebung der Funde aus. Entgegen den Erwartungen zeigt die Glättungsmittelkarte ein schnelleres Abnehmen der Fundhäufigkeit nördlich, also innerhalb der DDR, als südlich bzw. südwestlich der Beringungsorte.

Relativ gut sind an den Linien gleicher Fundhäufigkeit der Abbildung 7 die Fundbedingungen für die in den mittleren Landesteilen beringten Schwäne abzulesen. Die Brutzeitfunde im Bezirk Frankfurt/O. geborener Tiere weisen auf die große Bedeutung des Berlin-Potsdamer Raums sowie des direkt nördlich liegenden Küstengebiets als „Ablesezentren“ hin. Offenbar erscheinen die Schwäne aus diesem Beringungs-

gebiet hier tatsächlich öfter, da Funde aus anderen solchen Zentren an der Ostseeküste (z. B. Wismar-Bucht) nach der Glättung aus dem Fundbild verschwunden sind. Gleichen Gebietsbezug hat die in Abbildung 3b gezeigte Glättungsmittelkarte.

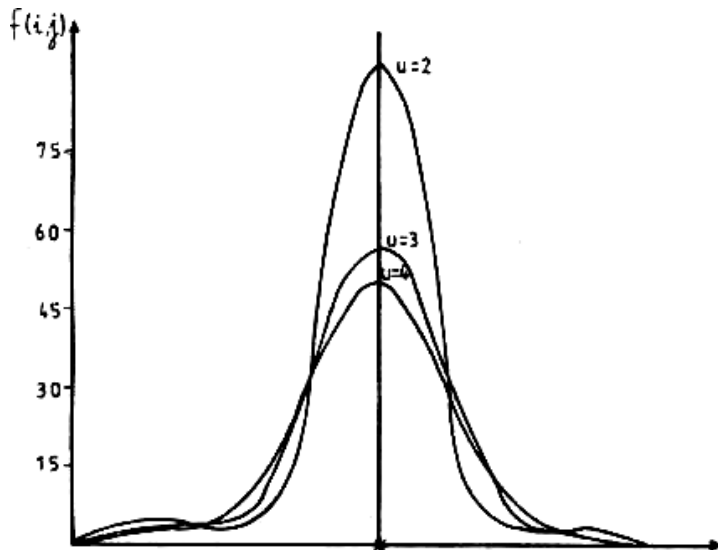


Abb. 4  
 $f(i,j)$ -Profile entlang der in den Glättungsmittelkarten Abb. 3a-3c enthaltenen Schnittlinien (normierte Werte)

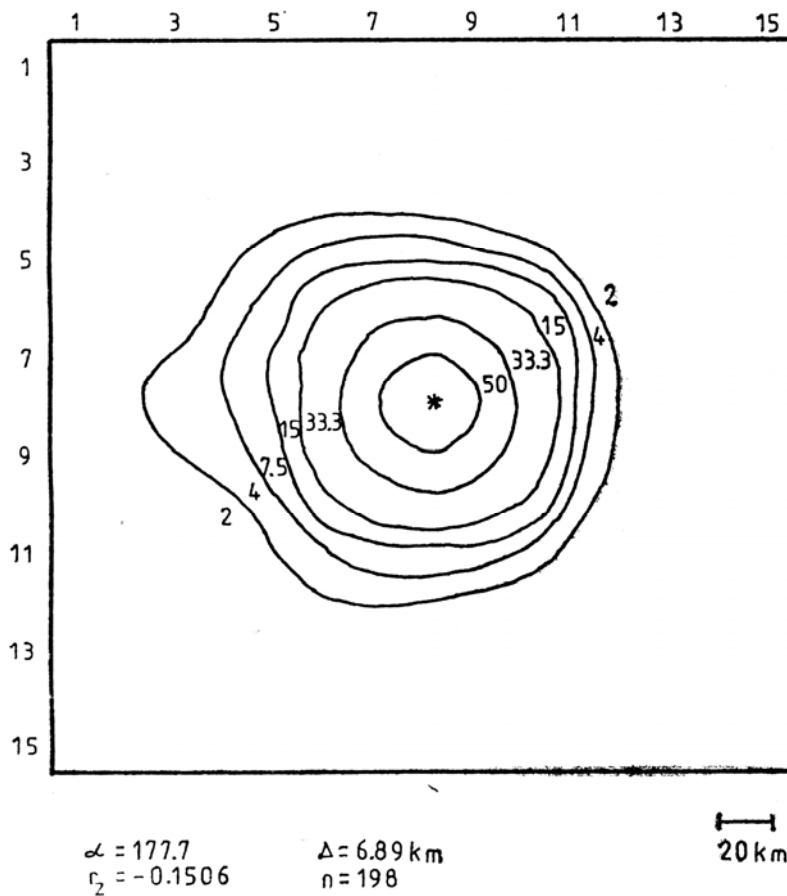
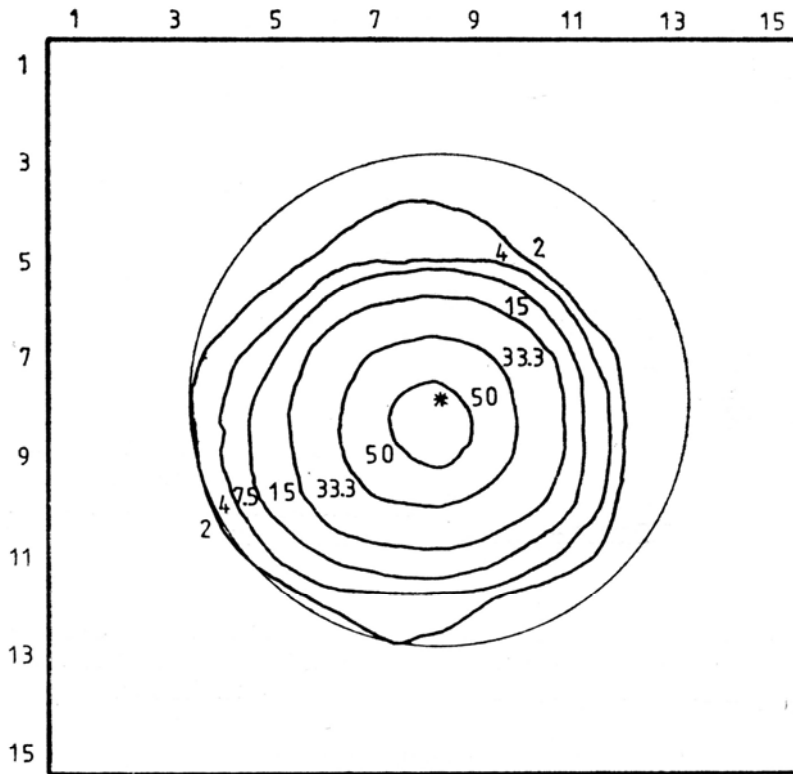


Abb. 5  
 Glättungsmittelkarte der Winterfunde von am Brutort beringten Hökerschwänen, Beringungsgebiet: ganze DDR,  $u = 3$

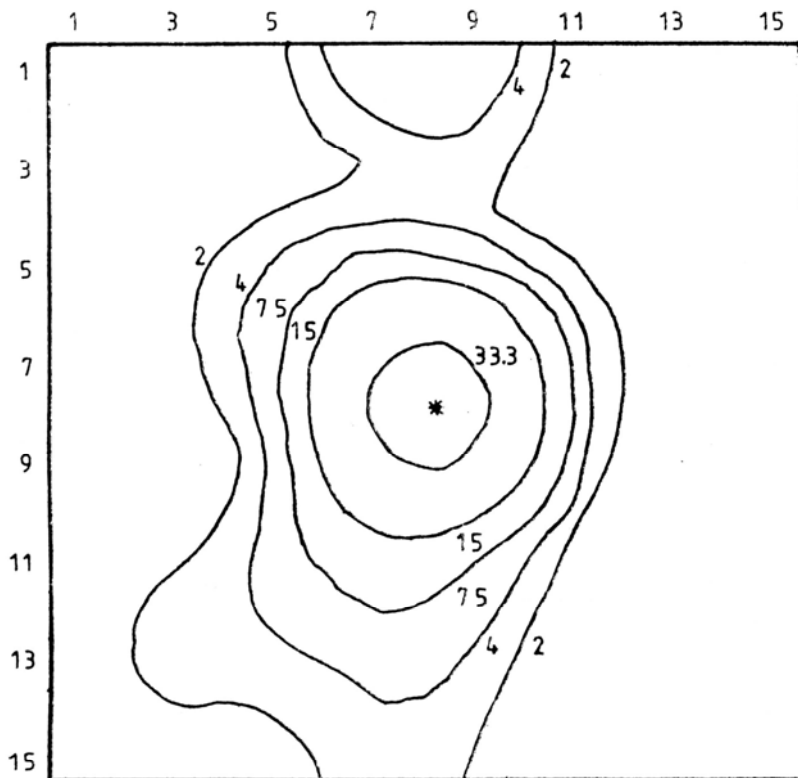


$\alpha = 236.4$   
 $r_2 = -0.0025$

$\Delta = 19.35 \text{ km}$   
 $n = 438$

40 km

Abb. 6  
 Glättungsmittelkarte der  
 Lebendfunde von nfl.  
 beringen Höckerschwä-  
 nen, Beringungsgebiet:  
 Bezirk Dresden,  $u = 3$



$\alpha = 167.9$   
 $r_2 = 0.2181$

$\Delta = 11.45 \text{ km}$   
 $n = 99$

20 km

Abb. 7  
 Glättungsmittelkarte der  
 Fundverteilung der Ab-  
 bildung 2b,  $u = 3$



#### 4. Vorteile

Das beschriebene Verfahren ermöglicht es, den allgemeinen Charakter weiträumiger und ungleichmäßiger Wiederfundverteilungen quantitativ herauszuarbeiten und diesen Charakter in der ursprünglichen Zwei-Dimensionalität der Funde sichtbar zu machen. Viele andere Verfahren zur Beschreibung von Fundverteilungen können dies nicht. Sie liefern meist eine Verdichtung der Information nur in einer Dimension, so etwa als Verteilung der Funde auf Entfernungsklassen oder auf Richtungssektoren mit den üblichen statistischen Maßzahlen. Dieses Dilemma zu umgehen, etwa indem die Entfernungverteilung der Funde in den einzelnen Richtungssektoren durch das arithmetische Mittel, den Median oder mehrere Quantile dargestellt wird, kann nur als Notlösung angesehen werden. Diese Maßzahlen erfassen die grundsätzlich schiefe Entfernungverteilung der Funde entweder überhaupt nicht oder nur sehr grob, von ihrer Anschaulichkeit zum hier vorgestellten Verfahren ganz abgesehen.

Erster wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist daher die durch die quantifizierende zweidimensionale Beschreibung mögliche Aufdeckung von Trends innerhalb von Original-Funddaten. Solche Trends bleiben bei der üblichen Informationsverdichtung mittels o. g. Maßzahlen gewöhnlich unerkannt.

Jede noch so gute Beschreibung von Fundverteilungen darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß bei der biologischen Interpretation solcher Verteilungen leicht Irrtümer unterlaufen. Infolge der stets inkorrekten Stichprobennahme kann nicht ohne weiteres von der Verteilung der Funde auf die Verteilung der Beringten insgesamt geschlossen werden. Auch wegen sehr unterschiedlicher geografischer Fundwahrscheinlichkeiten liefern Ringfunde immer ein in unbekanntem Maße verzerrtes Abbild der wahren Verteilung der Ringträger bzw. der untersuchten Population. Es ist somit angebracht, diese Verzerrung als unvermeidbar hinzunehmen und sich auf die biologische Interpretation von Unterschieden zwischen den Fundverteilungen verschiedener Vogelarten oder auch verschiedener Individuengruppen zu konzentrieren (PERDECK, 1977). Die verbesserte, quantifizierende Beschreibung und dadurch erleichterte Unterscheidbarkeit von Fundverteilungen ist vor diesem Hintergrund als eine wichtige Voraussetzung für die Auswertung von Beringungsergebnissen anzusehen. Glättungsmittelkarten sind, wenigstens für Fundverteilungen des hier behandelten Typs, ein neues und wesentliches Hilfsmittel zur Lösung dieses Problems. Sie ermöglichen aufgrund ihrer kompakten zweidimensionalen Beschreibung ein direktes visuelles Unterscheiden von Fundverteilungen.

Im Gegensatz zu einigen Verfahren der eindimensionalen Beschreibung von Fundverteilungen, kann für die Methode der gewichteten Flächenmittel noch kein Prüfverfahren zur statistischen Absicherung von Unterschieden angeboten werden. Die o. g. Maßzahlen der Glättungsmittelkarten könnten jedoch dafür nutzbar sein.

Die Anwendung des vorgestellten Verfahrens zur Wiederfundanalyse erfordert wegen des recht hohen Rechenaufwandes den Einsatz eines Mikrorechners. Interessenten steht ein entsprechendes Programm (Turbo-Pascal) für eine Nachnutzung zur Verfügung.

Für hilfreiche Anmerkungen zu früheren Fassungen dieser Arbeit danken die Autoren Herrn Prof. Dr. A. Siefke sowie Herrn Dipl.-Biol. R. Klenke.

## Anhang

Wir unterstellen zunächst eine Rasterung des Wiederfundraumes in der Umgebung des Beringungsortes mit einer Kantenlänge  $K$  der quadratischen Rasterfelder. Ein zentrales Rasterfeld, das dem Beringungsgebiet entsprechen soll, habe die Koordinaten  $(xy, xz)$ , die umgebenden Rasterfelder dementsprechend

$$(xz, yz + 1), (xz + 1, yz), (xz, yz - 1), (xz - 1, yz), \dots, (xz - 1, yz - 1) \text{ usw.}$$

Analog gestaltet sich die Bezeichnung der Umgebungsfelder eines beliebigen Rasterfeldes

$$(x(i), y(i)) \text{ mit z. B. } (x(i) + 1, y(i) - 1) \text{ oder } (x(i) + 3, y(i)) \text{ usw.}$$

Die beobachtete Häufigkeit im Feld  $(x(i), y(j))$  wird durch  $z(i, j)$  symbolisiert.

Der geglättete Feldwert  $f(i, j)$  für  $(x(i), y(j))$  ergibt sich in Anlehnung an FEIGE (1984) aus

$$f(i, j) = \frac{\sum_{\forall (i', j') \in U} g(i', j') z(i', j')}{\sum_{\forall (i', j') \in U} g(i', j')} \quad (1)$$

wobei unter  $\forall (i', j') \in U$  das Bedingungsnetz

- $(i', j')$  im Kontrollraum
- $i - u \leq i' \leq i + u$
- $j - u \leq j' \leq j + u$
- $(i - i')^2 + (j - j')^2 \leq u^2$

zu verstehen ist.

$g(i', j')$  sind Gewichtungsfaktoren, die den Abstand des Umgebungsrasterfeldes von  $(x(i), y(i))$  berücksichtigen:

$$g(i', j') = f_0^{a+d \cdot d} \quad (2)$$

mit  $f$  und  $a$  als problemabhängige Modellkonstanten und

$$d = \sqrt{(i - i')^2 + (j - j')^2} \quad (3)$$

Im konkreten Auswertungsfall wählten wir  $f = 0,9$  und  $a = 2$ .

Um die  $f(i, j)$  auch zwischen Erhebungen unterschiedlichen Datenumfangs vergleichbar zu halten, wurden diese durch

$$f(i, j): f(i, j) \frac{1000}{n} \quad (4)$$

normiert.

Neben den  $f(i, j)$  können für die Datenmengen die mittleren Schwerpunkte der

Wiederfindsdrift (als Polarkoordinaten) ermittelt werden:

$$\alpha = \arctan (sy/sx) \text{ und } \Delta = (sx^2+sy^2)$$

(Variablendefinition s. unten)

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten  $r_z$  erfolgt beringungsortzentriert:

$$sxy = \sum_{i,j} z(i,j) (i - yz) (j - xz)$$

$$sxx = \sum_{i,j} z(i,j) (j - xz)^2$$

$$syy = \sum_{i,j} z(i,j) (i - yz)^2$$

$$n = \sum_{i,j} z(i,j)$$

$$sx = \sum_{i,j} z(i,j) (j - xz)$$

$$sy = \sum_{i,j} z(i,j) (i - yz)$$

$$r_z = \frac{sxy - (sx \cdot sy/n)}{\sqrt{sxx - sx \cdot sx/n} \cdot \sqrt{syy - sy \cdot sy/n}}$$

$r_z$  weicht vom traditionellen Korrelationskoeffizienten wegen der meist nur kleinen  $\Delta$  oft nur wenig ab.

## Literatur

- JENNI, L. (1987): Analysis of recoveries of same species subgroups with similar potential recovery rates. - Acta ornitologica, Vol. 23, 1: 129-132.
- FEIGE, K.-D. (1984): Gewichtete Flächenmittel - eine Methode zur numerischen Differentiation von Populationsstrukturen. - Zool. Abh. Ber. Mus. Tierkunde Dresden 39: 107-114.
- KÖPPEN, U.; BENECKE, H.-G. (i. Vorb.): 25 Jahre Höckerschwan-Beringung in der DDR - eine vorläufige Bilanz. - Ber. Vogelwarte Hiddensee.
- PERDECK, A. (1977): The analysis of ringing data: pitfalls and prospects. - Die Vogelwarte 29 Sonderheft: 33-44.
- RUTSCHKE, E. (1987): Zur Populationsentwicklung des Höckerschwans (*Cygnus olor*) in der DDR. - Beitr. Vogelkunde 33, 2: 75-92.

Für die Verfasser: Dr. K.-D. Feige

PF 702

DDR-2551 Dummerstorf