

## Gewichtete Flächenmittel - eine Methode zur numerischen Differentiation von Populationsstrukturen

Mit 4 Abbildungen

KLAUS-DIETER FEIGE  
Dummerstorf-Rostock

Unter der „Siedlungsdichte“ einer Tierart versteht der Zoologe normalerweise eine auf eine bestimmte, festgelegte Standardflächeneinheit umgerechnete Anzahl von Individuen oder Paaren. Aus der Sicht des Ornithologen engt sich diese Definition auf die Anzahl von Brutpaaren einer Vogelart auf 10 ha Untersuchungsareal ein. Die Werte für verschiedene Brutpaardichten sind in diesem Sinne unabhängig von den tatsächlichen Untersuchungsflächen  $G$ , die in ihrer Ausdehnung nur selten z. B. genau 10 ha umfassen werden. Die Berechnung der Siedlungsdichte  $D$  ist unkompliziert mit

$$D = \frac{n}{F} \quad [\text{BP}/10 \text{ ha}] \quad (1)$$

Dabei bedeuten in obiger Formel:  $n$  = Zahl der beobachteten Brutpaare in  $G$ ,  $F$  = reale Untersuchungsfläche von  $G$ .

Erst durch eine derartige Normierung sind Siedlungsdichteangaben verschiedener Erhebungsgebiete vergleichbar. In diesem Zusammenhang ist es zunächst gleichgültig, ob es sich bei den Brutpaaren um die Tiere einer oder mehrerer Arten handelt.

Natürlich gestaltet sich die Feststellung von  $n$  nicht so leicht, wie es danach die Berechnung von  $D$  ist. Nicht umsonst verweisen einige meist methodisch orientierte Arbeiten auf die Schwierigkeiten, die im Rahmen einer Siedlungsdichteerhebung auftreten können (BERTHOLD, 1976; DORNBUSCH, GRÜN, KÖNIG & STEPHAN, 1968).

Es sei nun vorausgesetzt, daß die Anzahl der Brutpaare im Kontrollgebiet bereits festliegt, ja darüber hinaus bekannt ist, wo sich das Revier oder der Neststandort jedes Paares befindet (z. B. für den Pirol - *Oriolus oriolus* (L.) - bei REINSCH & WARNCKE, 1971 demonstriert).

Zeichnet man die beobachteten Nistplätze nun in eine entsprechende Karte des Kontrollgebietes, zeigen sich fast immer mehr oder weniger stark ausgeprägte Ballungszentren oder Flächenanteile mit geringerer Brutpaarkonzentration. Obwohl uns  $D$  schon eine wichtige Information über unsere Beobachtungsobjekte vermittelt hat, ergibt sich nun aber die Frage nach der Ursache der ungleichen Verteilung innerhalb der Untersuchungsfläche. Deren Beantwortung setzt oftmals zunächst eine Quantifizierung der Siedlungsdichtedifferentiation voraus. Am einfachsten erscheint dabei die Zerlegung des Beobachtungsgebietes in Teilgebiete (meist von gleicher Größe), die dann so wie eigenständige Siedlungseinheiten behandelt werden.

Sprechen nicht bestimmte Strukturelemente der Landschaft (z. B. Abteilungen in Forsten, Wohnblöcke in Stadtgebieten) dagegen, empfiehlt sich die Unterteilung der Gesamtfläche über ein Raster.

Diese Parzellierung hat sich auch in einer Reihe andersartiger Datenerhebungen in Freilanduntersuchungen bewährt (BEZZEL & UTSCHIK, 1979; DYBBRO, 1976; SHARROCK, 1980 u. a.) und wurde schließlich auch im Zusammenhang mit der

Brutvogelerfassung (Meßtischblattkartierung) in der DDR in den vergangenen Jahren verwendet. Ihr wesentlicher Vorteil besteht in der einheitlichen Flächengröße der Rasterelemente und der daraus abgeleiteten direkten (also ohne Umrechnungen) Vergleichbarkeit einer Reihe von Parametern.

Die Siedlungsdichte für die k-te Teilfläche  $G_k$  eines Brutareals ist entsprechend (1) durch

$$D_k = \frac{n_k}{F_k} \quad (2)$$

zu berechnen ( $n_k$  = Zahl der Brutpaare in  $G_k$ ,  $F_k$  = reale Untersuchungsfläche von  $G_k$ ). Setzt man die Aufgliederung von  $G$  in immer feinere Flächenelemente fort, so nähern wir uns sehr bald der Zeichnungs- und damit Informationsgenauigkeit der oben genannten Punktkarte des Kontrollgebietes.

Die Siedlungsdichte und die Punktkarte des Erhebungsgebietes stellen so praktisch die beiden Extrema hinsichtlich der Informationen über die Brutdichtestruktur in  $G$  dar.

Man sieht nun aber auch leicht, daß wir selbst über die Teilflächenanalyse einen nur groben Zugang zur Siedlungsdichtestruktur finden, da ja hier kaum Beziehungen zu bestimmten Umweltfaktoren gefunden werden können (wie z. B. zu weiteren Brutpaaren). Eine solche Teilflächenanalyse steht zudem auch dem Wunsch entgegen, für jeden beliebigen Punkt aus  $G$  einen standortspezifischen Siedlungsdichtewert angeben zu können.

Eine mögliche Lösung dieser Problemstellung besteht in der Einbeziehung eben dieser benachbarten Partialflächen in die Siedlungsdichteberechnung für das zentrale  $G_k$ :

$$D'_k = \frac{n_k + \sum_{j \in U} n_j}{F_k + \sum_{j \in U} F_j} \quad (3)$$

( $U$  ist dabei die Menge der Indizes der  $G_k$  umgebenden  $G_j$ ).

Mit (3) kann somit für jedes Rasterelement  $k$  ein „umgebungsberücksichtigender“ Dichtewert angegeben werden, was über  $G$  praktisch einer Glättung der Punktkarte entspräche.

Mangelhaft ist gegebenenfalls aber noch eine ungewichtete Einbeziehung der den

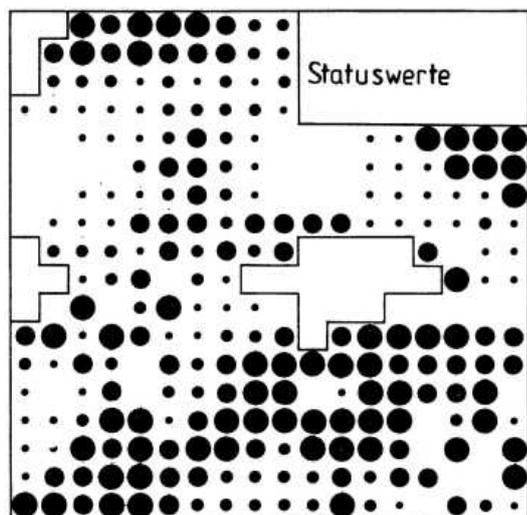


Abb. 1. Symbolische Darstellung der in der Analyse verwendeten Statuswerte.

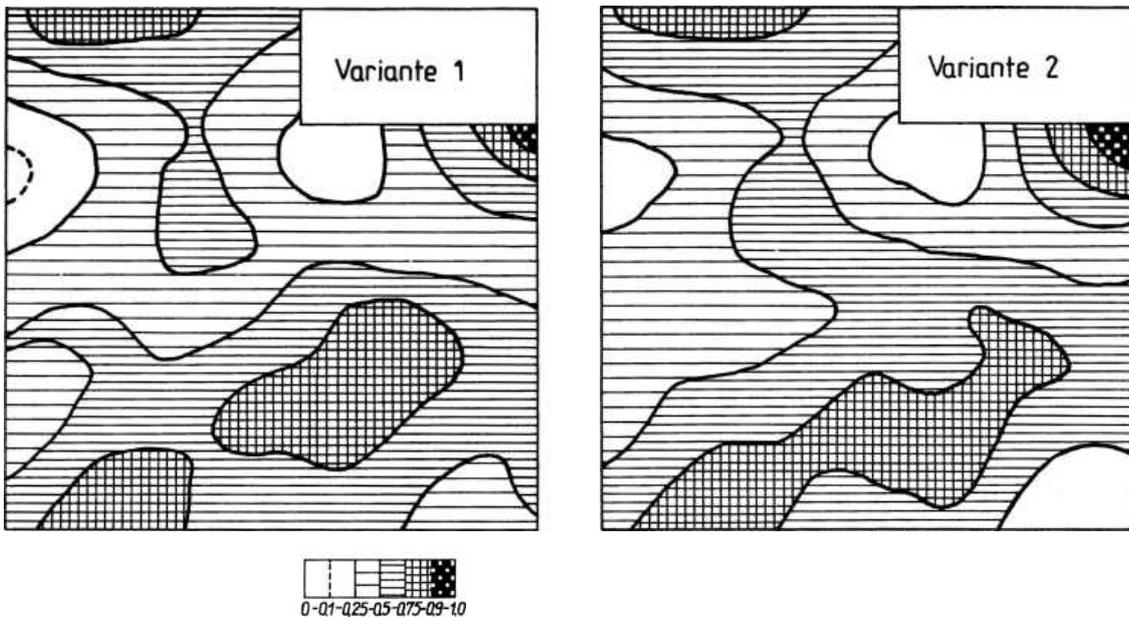


Abb. 2. Populationsstrukturkarten: Variante 1 mit Berücksichtigung, Variante 2 (Standard) ohne Berücksichtigung der Beobachtungsdauer

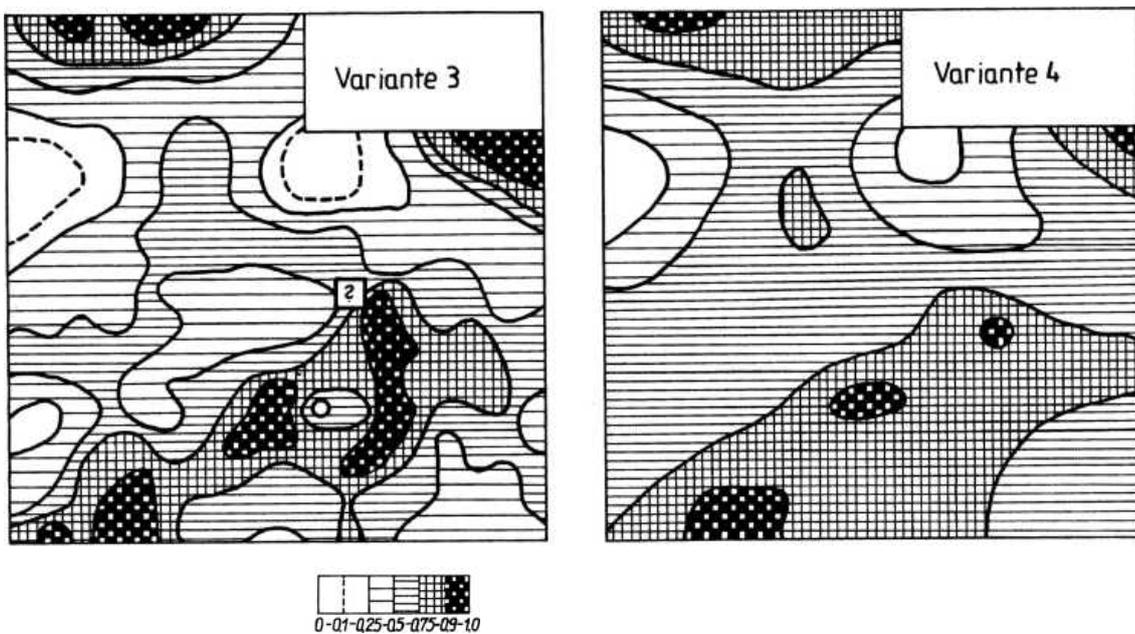


Abb. 3. Populationsstrukturkarten: Variante 3 mit verkleinerter Punktumgebung, Variante 4 mit höheren Statuswerten als im Standardfall.

Punkt  $k$  umgebenden Teilflächen aus  $U$ , da ja doch offensichtlich bei allen mir bekannten Arten zu den unmittelbaren Brutnachbarn intensivere Beziehungen bestehen als zu entfernteren Nachbarn. Auch subjektive Faktoren lassen es gelegentlich angeraten sein, eine Differenzierung zusätzlich über solche Kriterien wie Beobachtungsintensität und -dauer, Zuverlässigkeit unterschiedlicher Beobachter und ähnlicher Merkmale vorzunehmen.

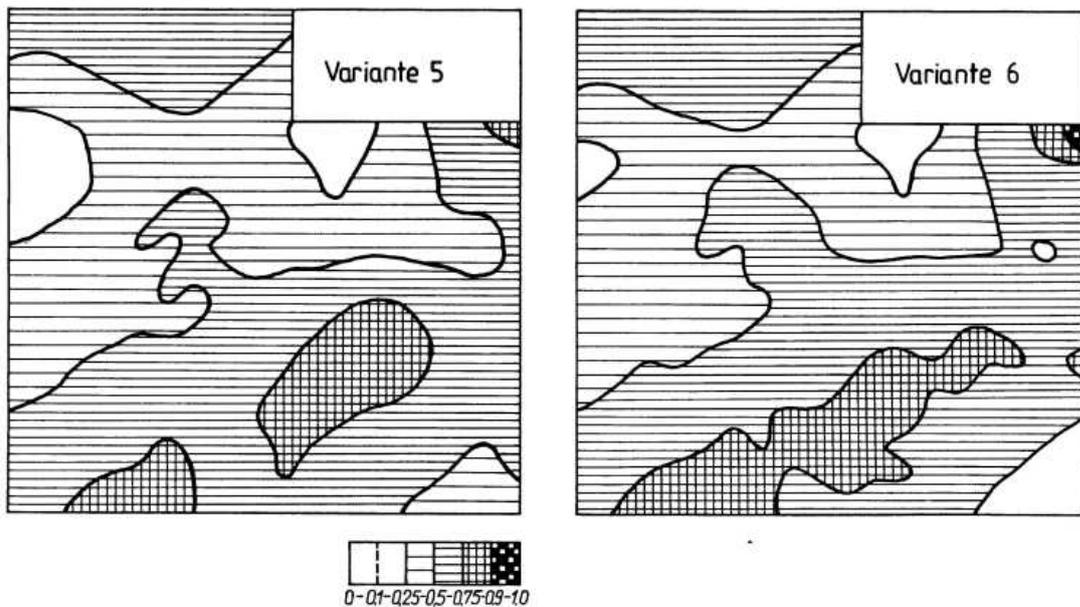


Abb. 4. Populationsstrukturkarten: Variante 5 mit ungedämpfter Umgebungswichtung und ohne Berücksichtigung der Beobachtungsdauer; Variante 6 analog, aber mit Berücksichtigung der Beobachtungsdauer.

Jedes in eine derartige umgebungsspezifische Siedlungsdichteanalyse eingehende Flächenelement  $j \in U$  erhält nun noch einen Gewichtungsfaktor  $g_j$ , und (3) geht in (4) über:

$$D''_k = \frac{g_k n_k + \sum_{j \in U} g_j n_j}{g_k F_k + \sum_{j \in U} g_j F_j} \quad (4)$$

Bevor wir diese Entwicklung an Beispielen nachvollziehen können, muß aber etwas zur Wahl von  $U$  und  $g_j$  gesagt werden. Sowohl  $U$  als auch die  $g_j$  müssen so gewählt sein, daß sie den in der Natur real existierenden Wechselwirkungen der Paare untereinander entsprechen. Rasterpunkte in die Berechnung von  $D''_k$  einzubeziehen, die weit außerhalb des Einzugsgebietes eines Brutpaares liegen, ist auch bei niedriger Wichtung unnötig und erhöht nur den notwendigen Rechenaufwand. Allerdings ist diese Frage arttypisch zu entscheiden und oft schon bei der Wahl der Rastergröße zu berücksichtigen.

Im Beispiel der eigenen Untersuchungen am Pirol hat sich eine Rastergröße von 0,5 km x 0,5 km (etwa Reviergröße der Art) bewährt. Zur Umgebung  $U$  von  $G_k$  wurden alle Rasterelemente erklärt, deren Zentrum vom Zentrum von  $G_k$  nicht weiter als 3 km entfernt waren. Diese 3 Kilometer entsprechen annähernd der größten Entfernung, auf die Paare noch Kontakt miteinander haben.

$g_j$  ( $j \in U$ ,  $k$ ) wählt man entweder als Linearkombination bzw. als Produkt der normierten Einflußgrößen. Im Falle der multiplikativen Verknüpfung bewirkt bereits der Nullstatus einer Information, daß das entsprechende Rasterelement für die aktuelle Auswertung entfällt.

Die vorliegenden Versuche basierten maximal auf einem  $g_j$  mit

$$g_j = f(j, k) \cdot t_j^r \cdot p_j \cdot w_j \quad (5)$$

In (5) bedeuten:  $t_j$  = Beobachtungszeit in Stunden,  $r$  = Exponent für die Beobachtungszeit,  $p_j$  = Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit des Beobachters ( $0 \leq p_j \leq 1$ ),  $w_j = (0; 1)$  - Information über theoretische Möglichkeiten des Brütens einer Art in  $G_j$ .

$f(j,k)$  ist eine geeignete Funktion zur Wichtung des Abstandes zwischen  $G_j$  und  $G_k$ ; in unseren Überprüfungen aus empirischen Erwägungen durch

$$f(j, k) = f_0 \cdot a^{\Delta_{jk}} \Delta_{jk} \quad (6)$$

gebildet. Dabei ist  $\Delta_{jk}$  der Abstand der Mittelpunkte von  $G_j$  und  $G_k$ ;  $a$  sowie  $f_0$  sind vorgebbare Konstanten, die entscheidend den Einfluß der Ränder von  $U$  auf  $D''_k$  bestimmen (siehe dazu auch Tabelle 1).

Ein Exponent  $r < 1$  ist notwendig, da die Anzahl der entdeckten Brutpaare nicht beliebig mit der Beobachtungsdauer in  $G_j$  wächst. Trotzdem ist es zu empfehlen, die Beobachtungszeiten in verschiedenen  $G_j$  nicht zu stark voneinander abweichen zu lassen, da sonst für sehr große  $t_j$  eine Überbewertung des  $G_j$  erfolgt. Zu ähnlichen Wachstumsbeschränkungen der Beobachtungsinformation kamen z. B. auch HOLZ, SELLIN & STARKE (1983).

Sollen einzelne Komponenten von  $g_j$  unberücksichtigt bleiben, sind die entsprechenden Faktoren einfach wegzulassen.

$w_j$  nimmt den Wert 0 an, wenn im Rasterelement  $G_j$  eine Brut unmöglich ist (z. B. beim Pirol eine freie Wasserfläche), andernfalls ist  $w_j = 1$ .

Entläßt man aus (5) die  $w_j$ , bedeutet das, die Siedlungsdichteanalyse auch auf die für eine Art ungeeigneten Lebensräume auszudehnen. Eine derartige Vorgehensweise ist sicher nur selten berechtigt.

Sind in Formel (4) die  $n_j$  keine beobachteten Brutpaare im Rasterfeld  $G_j$ , sondern Brutwahrscheinlichkeiten entsprechend einer festgelegten Statusliste, läßt sich die hier entwickelte Gleitmittel-Siedlungsdichteberechnung auch analog auf den Ausgleich von Ergebnissen der Rasterkartierungsaktion der Ornithologen der DDR übertragen. Sie empfiehlt sich zudem, um einige subjektive Bearbeitungsunterschiede in verschiedenen Rasterflächen wenigstens annähernd auszugleichen.

Tabelle 2 zeigt die für ein fiktives Untersuchungsgebiet angenommenen Brutpaarzahlen je Rasterelement und Tabelle 3 die zugehörigen Beobachtungsdauerangaben. In Abbildung 1 sind zur optischen Vermittlung die in Tabelle 2 gezeigten Werte als Statuswertangaben übertragen. Damit entsprechen die Ergebnis-Abbildungen 2-4 beiden Problemstellungen. Zur Interpretation sind für den Fall der Siedlungsdichtebetrachtung die Größenangaben der Linien gleichen Dichtewertes mit 4 zu multiplizieren.

Zur Kennzeichnung des Einflusses verschiedener Parameter auf das Gesamtergebnis sind die Berechnungen für folgende Parametervarianten ausgeführt worden:

Variante 1:	$r = 1$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 3 \Rightarrow U$		
	$f_0 = 0,9$	$a = 2$			
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,25$	$2 \hat{=} 0,5$	$3 \hat{=} 0,75$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$
Variante 2:	$r = 0$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 3 \Rightarrow U$		
	$f_0 = 0,9$	$a = 2$			
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,25$	$2 \hat{=} 0,5$	$3 \hat{=} 0,75$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$
Variante 3:	$r = 0$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 1,5 \Rightarrow U$		
	$f_0 = 0,5$	$a = 2$			
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,25$	$2 \hat{=} 0,5$	$3 \hat{=} 0,75$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$

Variante 4:	$r = 0$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 3 \Rightarrow U$			
	$f_o = 0,9$	$a = 2$				
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,4$	$2 \hat{=} 0,8$	$3 \hat{=} 0,9$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$	
Variante 5:	$r = 0$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 3 \Rightarrow U$			
	$f_o = 1,0$	$a = 1$				
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,25$	$2 \hat{=} 0,5$	$3 \hat{=} 0,75$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$	
Variante 6:	$r = 1$	$p_j = 1$	$\Delta_{jk} \leq 3 \Rightarrow U$			
	$f_o = 1$	$a = 1$				
Statuswert	$0 \hat{=} 0,0$	$1 \hat{=} 0,25$	$2 \hat{=} 0,5$	$3 \hat{=} 0,75$	$4 \hat{=} 1,0 (= n_1)$	

Die jeweiligen Besonderheiten der Varianten zeigt der Vergleich mit Abb. 1 und der Varianten-Abbildungen untereinander.

		$\Delta_{jk} =$						
$f_o$	a	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	beliebig	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,9	4,0	1,00	0,90	0,66	0,39	0,19	0,07	0,02
	2,0	1,00	0,95	0,81	0,62	0,43	0,27	0,15
	1,0	1,00	0,97	0,90	0,79	0,66	0,52	0,39
0,7	2,0	1,00	0,84	0,49	0,20	0,06	0,01	0,00
	1,0	1,00	0,91	0,70	0,45	0,24	0,11	0,04
	0,5	1,00	0,96	0,84	0,67	0,49	0,33	0,20
0,5	1,0	1,00	0,84	0,50	0,21	0,06	0,01	0,00
	0,5	1,00	0,92	0,71	0,46	0,25	0,11	0,04
	0,25	1,00	0,96	0,84	0,68	0,50	0,34	0,21
0,3	0,5	1,00	0,86	0,55	0,26	0,09	0,02	0,00
	0,25	1,00	0,93	0,74	0,51	0,30	0,15	0,07
	0,125	1,00	0,96	0,86	0,71	0,55	0,39	0,26
2,0	-0,25	1,00	0,96	0,84	0,68	0,50	0,34	0,21
4,0	-0,08	1,00	0,97	0,90	0,78	0,64	0,50	0,37

Tab. 1. Einfluß der Parameter a und  $f_o$  auf  $f(j, k)$  in Abhängigkeit von  $\Delta_{jk}$

### Zusammenfassung

Ausgehend von der Definition der Siedlungsdichte einer Tierart wird eine Methode abgeleitet, mit der sich auf Basis gewichteter Flächenmittel für jeden Punkt eines Beobachtungsgebietes ein lokaler Dichtewert angeben läßt. Diese numerische Differentiation von Populationsstrukturen ist neben der Auswertung von Karten mit Einzelobjekt-Eintragungen auch für Rasterkarten mit Statuswerten geeignet. Die Methode wird anhand einer Serie von Beispielen mit variierten Eingangsparametern demonstriert.

### Summary

#### WEIGHTED CENTROIDS - A MEANS OF DIFFERENTIATING NUMERICALLY BETWEEN POPULATION STRUCTURES

A method derived from the definition of the abundance of an animal species is presented for using the weighted centroids to calculate a local density for each point in a region that is being observed. This numerical differentiation of population structures can be used to analyze maps in which single structures are shown and for grid maps showing status values. The method is demonstrated by means of a series of examples with different input parameters.

---

-	-	4	3	4	4	4	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	3	4	3	4	3	3	3	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	2	2	2	1	2	1	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0	0	1	1	1	2	3	2	1	0	0	0	1	1	4	4	4	4	4	4
0	0	0	0	2	3	3	2	1	0	0	0	1	1	1	1	4	4	4	4
0	0	1	1	1	2	3	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	4
0	1	1	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	2	1	1
-	2	2	2	1	3	2	3	2	3	-	-	-	-	3	0	1	1	1	1
-	-	1	2	3	0	2	1	-	-	-	-	-	-	-	4	1	1	1	1
-	0	4	0	2	4	1	1	1	0	-	-	-	4	0	4	1	3	3	3
3	4	1	4	3	1	1	2	2	3	-	3	4	4	4	4	3	3	3	3
2	1	3	2	0	3	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
1	0	1	3	0	2	2	3	4	4	0	1	4	4	3	3	4	0	4	0
1	1	2	4	4	1	3	4	4	4	4	4	4	4	0	2	4	1	1	1
1	1	4	3	4	3	4	4	3	2	4	4	4	3	0	4	0	4	4	4
1	3	3	4	4	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	0	0	4	4	4
4	4	3	4	4	3	2	2	2	2	2	4	2	1	0	3	2	1	1	1

---

- = nicht beobachtet!

Tab. 2. Fiktive Brutpaarzahlen je km<sup>2</sup> (Rasterelement).

---

-	-	10	8	8	8	6	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	10	10	10	10	8	8	10	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	10	10	10	1	10	10	10	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	10	10	10	10	10	10	10	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1	4	6	4	8	8	10	6	10	9	8	10	8	8	8	8	7	7	7
1	1	2	5	5	9	7	8	10	7	8	10	10	1	10	10	8	4	4	4
1	1	1	1	1	4	5	1	2	6	8	10	1	1	1	1	2	1	1	1
1	1	4	5	5	6	8	10	10	10	10	10	1	1	8	1	1	1	1	1
-	2	7	8	10	10	8	10	8	8	-	-	-	-	8	9	4	10	10	10
-	-	2	2	2	5	2	8	-	-	-	-	-	-	-	5	2	2	2	2
-	9	5	8	6	4	1	8	1	4	-	-	-	-	9	10	10	2	4	4
6	5	8	5	6	8	8	7	7	6	-	1	5	2	6	6	6	8	8	8
5	5	5	5	5	5	6	8	8	8	1	1	1	2	4	6	8	8	8	8
5	5	5	5	5	5	8	8	8	8	10	10	1	1	5	6	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	8	8	8	8	8	8	10	10	1	4	4	1	1	1
8	8	10	10	8	8	6	6	6	6	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	8	8	5	1	1	1	1	1	4	2	2	10	10	1	1	1
10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	7	6	4	3	3	3	3	8	8	8

---

- = nicht beobachtet!

Tab. 3. Fiktive Beobachtungsdauer je km<sup>2</sup> (Rasterelement) in h.

### Literatur

- BERTHOLD, P., 1976: Methoden der Bestandserfassung in der Ornithologie: Übersicht und kritische Betrachtung. - Journ. Orn. **117**, p. 1-69.
- BEZZEL, E., H. UTSCHIK, 1979: Die Rasterkartierung von Sommervogelbeständen - Bedeutung und Grenzen. - Journ. Orn. **120**, p. 431-440.
- DORNBUSCH, M., G. GRÜN, H. KÖNIG, B. STEPHAN, 1968: Zur Methode der Ermittlung von Brutvogel-Siedlungsdichten auf Kontrollflächen. - Mitt. IG Avifauna DDR **1**, p. 7-16.
- DYBBRO, T., 1976: De danske ynglefugles udbredelse. Kobenhavn.
- HOLZ, R., D. SELLIN, W. STARKE, 1983: Über Ergebnisse einer Brutvogelrasterkartierung in Beziehung zum Erfassungsmodus. - Falke **30**, p. 78-85.
- REINSCH, A., K. WARNCKE, 1971: Zur Brutbiologie des Pirols (*Oriolus oriolus*). - Vogelwelt **92**, p. 121-141.
- SHARROCK, J. T. S., 1980: The Atlas of Breeding Birds in Britain and Ireland. Aylerbury (3rd impr.)

Anschrift des Autors:

Dr. K.-D. Feige, Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Postfach 702, DDR - 2551 Dummerstorf