

Friedberger Hochschulschriften

Wilfried Hausmann

*Simultane Verbreitungs- und
Bestandsdichteerfassung*

Friedberger Hochschulschriften Nr. 26

© Wilfried Hausmann

Friedberger Hochschulschriften

Herausgeber:

Die Dekane der Fachbereiche des Bereichs Friedberg der FH Gießen-Friedberg

Wilhelm-Leuschner-Straße 13, D-61169 Friedberg

<http://www.fh-friedberg.de>

Alle Rechte vorbehalten, Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung und Quellenangabe.

Friedberg 2005

ISSN 1439-1112

Simultane Verbreitungs- und Bestandsdichteerfassung	2
1 Einleitung	2
2 Die Südwestmethode	2
3 Theoretische Eigenschaften.....	4
3.1 Verbreitungsaussage.....	4
3.2 Modelle und Verteilungen.....	6
3.3 Kartierungsaufwand	7
3.4 Bestandssensitivität	9
3.5 Abzusuchende Fläche und Siedlungsdichte	14
4 Praxiserfahrungen aus einem Pilotprojekt.....	21
4.1 Praktikabilität	21
4.2 Durchführung der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse	24
5 Varianten.....	26
6 Fazit	28
Anhang 1: Eigenschaften von Zufallspunkten	29
Anhang 2: Erwartungswert der zu kartierenden Fläche bei der KR-Methode	30
Anhang 3: Eine Methode zur Schätzung der Bestandszahlen	30
Literatur.....	31

Simultane Verbreitungs- und Bestandsdichteerfassung

WILFRIED HAUSMANN

28.10.04

1 Einleitung

Wie kartiert man häufige Vogelarten? Während man sich bei sehr seltenen Spezies in der Regel um die Erfassung des Gesamtbestandes bemüht und bei spärlich vorkommenden Arten eine qualitative Rasterkartierung aussagekräftige Ergebnisse liefert, steht man bei der Konzipierung eines Erfassungsprogramms für häufige Arten schnell am Scheideweg: Will man eine detaillierte Aussage über die Verbreitung oder über die Bestandszahlen und Bestandsdichte erhalten? Entscheidet man sich für die Verbreitung, bietet sich ein qualitatives Rasterverfahren an, wobei die Rasterfelder für ein interessantes Ergebnis umso kleiner gewählt werden müssen, je „gewöhnlicher“ die Art ist. Interessiert man sich für Bestandszahlen und Bestandsdichte, so kommt man in der Regel nicht umhin, Teilpunkte, -linien oder -flächen des interessierenden Gebiets auszuwählen, die dann nach einer mehr (z.B. Revierkartierung) oder weniger (z.B. Linientaxierung) aufwändigen Methode bearbeitet werden. Die Auswahl der Bearbeitungsflächen kann dabei durch ein Zufallsprinzip oder fachliche Gesichtspunkte (z.B. Biototyp) oder eine Mischung von beidem erfolgen. Die sich hieraus ergebende reine Verbreitungsaussage (im Sinne von „kommt vor“ / „kommt nicht vor“) ist in der Regel zumindest bei Allerweltsarten wenig interessant.

In dieser Arbeit wird eine Methode oder genauer gesagt eine Methodengruppe vorgestellt, die verspricht, bei vertretbarem Aufwand aussagekräftige Verbreitungs- und Bestandsdichteaussagen über häufige Arten zu liefern.

Anmerkung zur Entstehung des Artikels: Dieser Artikel wird bereits in [HAUSMANN et al. 2004] als „in Vorbereitung“ zitiert und war zum damaligen Zeitpunkt (Herbst 2003) im theoretischen Teil auch schon im wesentlichen fertig und wartete nur noch auf den Feinschliff, der sich wegen der Abschlussarbeiten zu [HAUSMANN et al. 2004] aber verzögerte. Da sich im Frühjahr 2004 aber Bernd Dressler, Reinhard Müller, Andreas Schima, Udo Seum und Hanne Tinkl, denen ich an dieser Stelle ganz herzlich danken möchte, zu einem Pilotprojekt zur Methode zusammenfanden, entschloss ich mich, dieses Projekt abzuwarten und die Erfahrungen daraus miteinzubauen. Diese Praxiserfahrungen führten dann aber auch zu einer Weiterentwicklung und teilweise neuen Sicht der Theorie (mit deutlich gesteigener Einschätzung der Bedeutung der „abgesuchten Flächen“), so dass Teile des Artikels überarbeitet wurden und schließlich auch im Titel das Wort „Bestandserfassung“ in das treffendere „Bestandsdichteerfassung“ geändert wurde.

Wilfried Hausmann, September 2004

2 Die Südwestmethode

Die Methode besteht aus der Weiterentwicklung eines Verfahrens, das bei der kreisweiten Brutvogelerfassung im mittelhessischen Wetteraukreis in den Jahren 1998 und 1999 angewendet wurde und sich dort bewährt hat. Bei dieser Kartierung war es das Hauptziel, in jedem Rasterfeld (im Folgenden auch kurz als „Raster“ bezeichnet) festzustellen, welche Arten dort als Brutvögel vorkommen. Rasterfelder bildeten dabei die Viertel der Topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 (kurz TK25-Viertel). Da das Hauptziel für die häufigen Arten kaum neue Erkenntnisse versprach, wurde damals versucht, mit wenig zusätzlichem Aufwand auch noch Informationen über die Verbreitung der Arten innerhalb der Rasterfelder zu erhalten. Diese sollten – vereinfacht ausgedrückt – dadurch gewonnen

werden, dass bei den Exkursionen zur Erreichung des Hauptziels alle Arten zu notieren waren, nicht nur die, nach denen man gerade suchte. Hierbei sah man aber die Gefahr, dass dieses „Nebenziel“ leicht zum Hauptziel hätte werden können. Man befürchtete, dass man häufig überhaupt nicht dazu gekommen wäre, sich um den eigentlichen Exkursionsgrund - z.B. den Wespenbussard - zu kümmern, da man dauernd Amsel oder Rotkehlchen hätte notieren müssen. Um dem entgegen zu wirken, wurde der sogenannte 1-km-Filter eingeführt: Eine Art war nur dann zu notieren, wenn die Beobachtung mindestens 1 km von den schon notierten Beobachtungen der gleichen Art entfernt war. Eine detaillierte Beschreibung der Wetterau-Kartierung in Methode und Ergebnissen findet man in [HAUSMANN et al. 2004]. Die Südwest-Methode, die jetzt beschrieben werden soll, greift diesen 1-km-Filter wieder auf, verlangt aber zusätzlich eine systematische Abarbeitung des Rasters, das ebenfalls ein TK25-Viertel sein soll (Varianten in Abstand und Rastergröße sind natürlich denkbar, s. Abschnitt „Varianten“). Sofern nicht anders erwähnt, gehen wir immer von der idealisierten Situation aus, dass die Raster quadratisch und genau 33km² groß sind. Die Methode:

Man ermittle unter Verwendung des 1-km-Filters alle Vorkommen (z.B. singende Männchen) einer Art, wobei man strikt immer den südwestlichsten noch freien (d.h. noch nicht notierten und nicht in einem 1-km-Umkreis (1 km = Radius) enthaltenen) Vorkommensort auszuwählen hat. Die Kartierung ist maximal durchzuführen, d.h. nach Abschluss darf es keinen freien, nicht von einem 1-km-Umkreis überdeckten Vorkommensort mehr geben.

Zur Durchführung der Methode arbeitet man sich also von der südwestlichsten Ecke des Rasters in nordöstlicher Richtung vor. Ist eine Art häufig und weit verbreitet, wird man schnell ein Vorkommen finden und kann dann die Nordosthälfte des 1-km-Kreises um diesen Punkt für die weitere Kartierung überspringen. Abb. 1 zeigt die Kartierung eines Rasters nach der Methode. Die kleinen Kreise markieren Vorkommensorte, wobei die Vollkreise notierte Stellen und die Hohlkreise übersprungene Standorte darstellen sollen. Die Nummern an den notierten Punkten geben die Reihenfolge an, in der die Punkte aufgeschrieben wurden. Die Geraden kennzeichnen Punkte, die gleich südwestlich sind. Es kann vorkommen, dass mehrere konkurrierende Punkte gleich südwestlich sind. Für diesen zumindest theoretisch seltenen Fall kann man eine Zusatzregelung (z.B.: wähle im Zweifelsfall den südlichsten Punkt) vorsehen oder die Wahl den Kartierern überlassen.

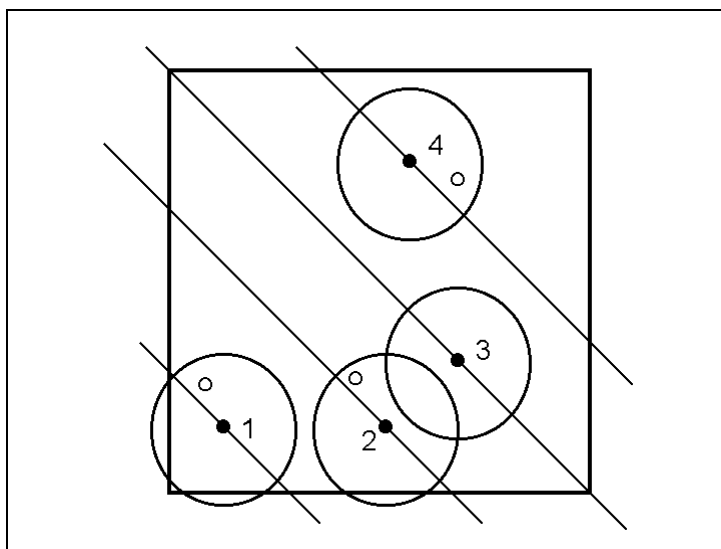


Abbildung 1 Notierungen nach der Südwestmethode

Analog zu dieser **Südwest-Methode** gibt es natürlich eine Nordwest-, Nordost- und Südostmethode. Alle diese Methoden sind völlig gleichwertig.

Die praktische Umsetzung der Südwest-Methode ist natürlich nicht ganz unproblematisch: Jeder Punkt des Rasters muss gegebenenfalls erreichbar sein. Darüber hinaus muss der Kartierer jedes relevante Vorkommen erkennen und punktgenau in die Karte eintragen. Mit diesen und ähnlichen Problemen – die nicht geleugnet werden sollen – beschäftigen wir uns weiter unten. Die Einhaltung des 1-km-Filters hingegen stellt in der Praxis kein großes Problem dar, denn mit Hilfe einer Schablone kann man sofort nach Aufnahme eines Punktes in einer mitgeführten Karte den 1-km-Kreis um diesen Punkt einzeichnen. Abbildung 2 zeigt hierzu ein Beispiel aus der Wetteraukartierung.

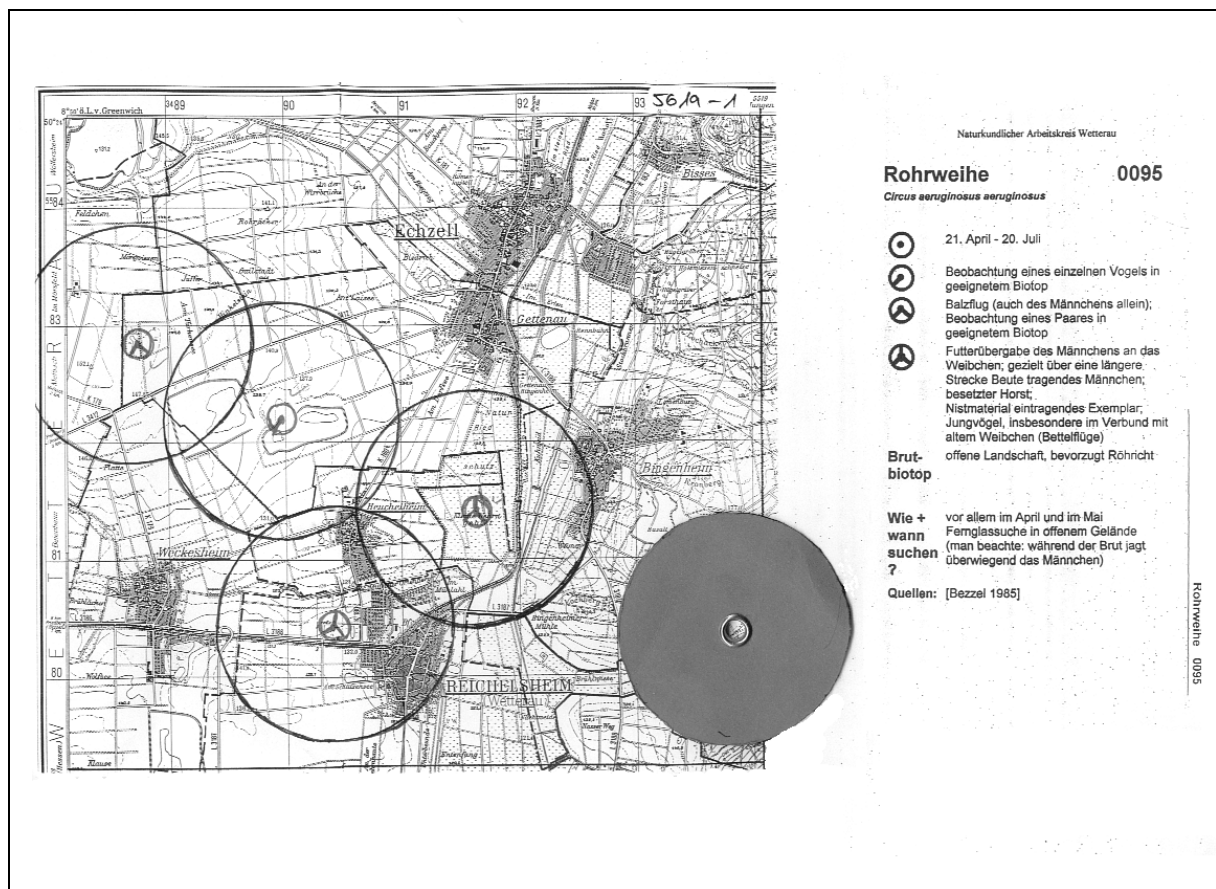


Abbildung 2 Ein Bearbeitungsblatt der Wetteraukartierung

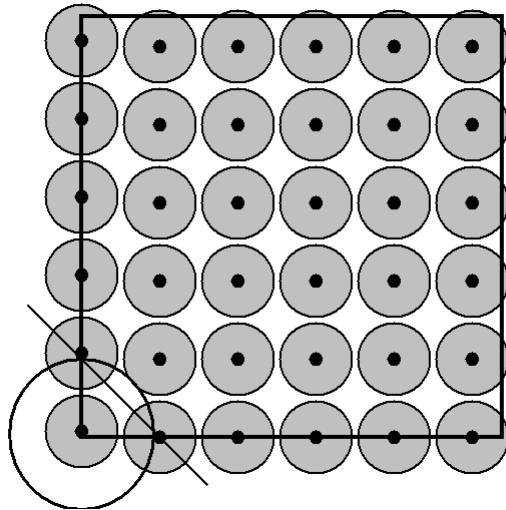
3 Theoretische Eigenschaften

Zunächst werden jetzt die theoretischen Eigenschaften des Verfahrens diskutiert, bevor dann im zweiten Teil Erfahrungen aus einem Pilotprojekt dargestellt werden.

3.1 Verbreitungsaussage

Es ist offensichtlich, dass die Südwestmethode detaillierte Aussagen über die Verbreitung einer Art innerhalb eines Rasters liefert. Je häufiger und gleichmäßiger die Vorkommen über das Raster verteilt sind, desto mehr Punkte können notiert werden. So ergibt sich schon rein optisch durch die entstehende „Punktwolke“ ein suggestives Verbreitungsbild. Numerisch sind der Anzahl der Notierungen in einem Raster natürlich Grenzen gesetzt. Obwohl Situationen mit mehr als 40 Punkten möglich sind (s. Abb. 5 in [HAUSMANN et al. 2004]),

erreicht man mit der Südwestmethode nur in unwahrscheinlich seltenen Fällen diese Anzahl. Tatsächlich strebt die Methode bei einer gleichmäßig zunehmenden Zahl der Vorkommensorte der zu untersuchenden Art den Wert von 36 Notierungen an. Im Grenzfall eines lückenlosen flächendeckenden Vorkommens zeigt sich folgendes Bild (Notierungen mit Kreisen vom Radius 500m, die sich nicht überlappen, wenn die Mittelpunkte mindestens 1 km voneinander entfernt sind) :



Es entspricht dem natürlichen Stapeln von Mühle-Spielsteinen auf einem auf eine Ecke (die „Südwestecke“) gestellten Spielbrett. Dies ist nicht die optimale (= raumsparendste) Art zu stapeln, was erklärt, warum durch die Südwestmethode normalerweise keine größeren Werte erreicht werden. Das ist zwar einerseits schade – je höher die Anzahl der möglichen Notierungen ist, desto größer ist das Differenzierungspotenzial einer Methode –, kann andererseits aber auch als

Glücksfall bezeichnet werden. Denn 36 ist eine Quadratzahl und hieraus ergibt sich eine sehr gute Vergleichbarkeit der Südwestmethode mit der rein qualitativen Rasterkartierung auf den Kleinrastern, die man erhält, wenn man das TK25-Viertel in 6*6 Quadrate aufteilt. Auch mit diesem Verfahren sind je (Groß-)Raster (= TK25-Viertel) null bis maximal 36 Notierungen möglich, d.h. das Differenzierungspotenzial der beiden Verfahren in der Anzahl Notierungen ist gleich. Da TK25-Viertel in Mittelhessen in etwa 33 km² groß sind, haben die Kleinraster eine Größe von ca. 91,7 ha und sind damit geringfügig kleiner als die genau 1 km² großen in der Praxis gebräuchlichen Gauss-Krüger-Quadrate. Nennen wir ab jetzt die sich bei einer 6*6-Unterteilung der TK25-Viertel ergebenden kleinen Raster **Kleinraster**, so ergibt sich also insgesamt:

Die Südwestmethode hat bezüglich der Darstellung der Verbreitung einer Art mindestens die gleiche Aussagekraft wie die qualitative Kartierung von Kleinrastern, die wiederum in ihrer Aussagekraft die qualitative Rasterkartierung auf Gauss-Krüger-Quadrate-Ebene leicht übertrifft.

Da bei der Südwestmethode die Position der notierten Punkte über das Raster stetig variieren kann, wohingegen bei der Methode der Kleinraster nur qualitative rasterbezogene Aussagen gemacht werden, liegen zumindest in der grafischen Darstellung klare Vorteile bei der Südwestmethode (s. Verbreitungskarten zum Pilotprojekt).

Bezeichnung. Die Südwestmethode bezeichnen wir ab jetzt auch kurz mit **SW-Methode** oder nur mit **SW-M** und die qualitative Kartierung der Kleinraster mit **KR-Methode** oder noch kürzer nur mit **KR-M**.

Da die Südwestmethode bezüglich der Aussagekraft über die Verbreitung einer Art recht nahe bei der KR-Methode liegt, wird diese bei den folgenden Untersuchungen immer wieder für Vergleichszwecke herangezogen.

3.2 Modelle und Verteilungen

Bei den zunächst theoretischen Betrachtungen bedienen wir uns abstrakter Modelle, die die Wirklichkeit annähern sollen. In diesen Modellen geht es nicht um z.B. Vögel in einem Wald, die sich ihren Brutstandort zielgerichtet aussuchen, sondern um Punkte in einem Quadrat, die dort nach einem Zufallsprinzip erzeugt werden. Dieses Zufallsprinzip kann grundsätzlich sehr verschieden gestaltet sein, Standardmodell für die Untersuchungen ist aber die **reine Zufallsverteilung**, bei der jeder Punkt an jeder Stelle mit der gleichen Chance landen kann und die Punkte sich gegenseitig nicht beeinflussen.

Aus biologischer Sicht können sicher gravierende Einwände gegen die Annahme der reinen Zufallsverteilung geltend gemacht werden. Territorialität oder Koloniebrutverhalten sprechen gegen die Unabhängigkeit und große Unterschiede in der Biotopstruktur widersprechen der Annahme, dass jeder Punkt die gleiche Chance hat, als Nestplatz auserwählt zu werden. Dennoch: Es geht bei dem betrachteten Verfahren vor allem um „Allerweltsarten“ ohne allzu spezifische Biotopansprüche, die weder in Kolonien konzentriert brüten noch riesige Territorien beanspruchen, und da könnte es vielfach durchaus so sein, dass nach Vergessen aller biologischen Parameter die reine Verteilung der Neststandorte als Punkte in einem Raster der von typischen zufälligen Punkten nicht unähnlich ist.

Unabhängig davon zeichnet sich ab, dass viele der folgenden Aussagen nicht nur unter der Zufallsverteilungsannahme richtig sind, sondern in ihrer Tendenz auch bei anderen Verteilungen zutreffen. So untersuchen wir an einigen Stellen auch eine zweite Verteilung, die wir **randomisierte Gleichverteilung** nennen. Diese erhält man, wenn man das Raster (TK25-Viertel) in gleich große Teilquadrate zerlegt und in jedem dieser Teilraster genau einen Zufallspunkt nach der reinen Zufallsverteilung erzeugt. Die randomisierte Gleichverteilung ist also im Großen eine Gleichverteilung und im Kleinen eine reine Zufallsverteilung. Damit die Ränder der Teilquadrate nicht in Überdeckung mit den Rändern der Kleinraster gelangen, wird zu allen Punkten ein Zufallsvektor addiert (jeweils der gleiche). Punkte, die durch diese Verschiebung rechts oder oben aus dem Raster fallen, werden links bzw. unten wieder eingefügt.

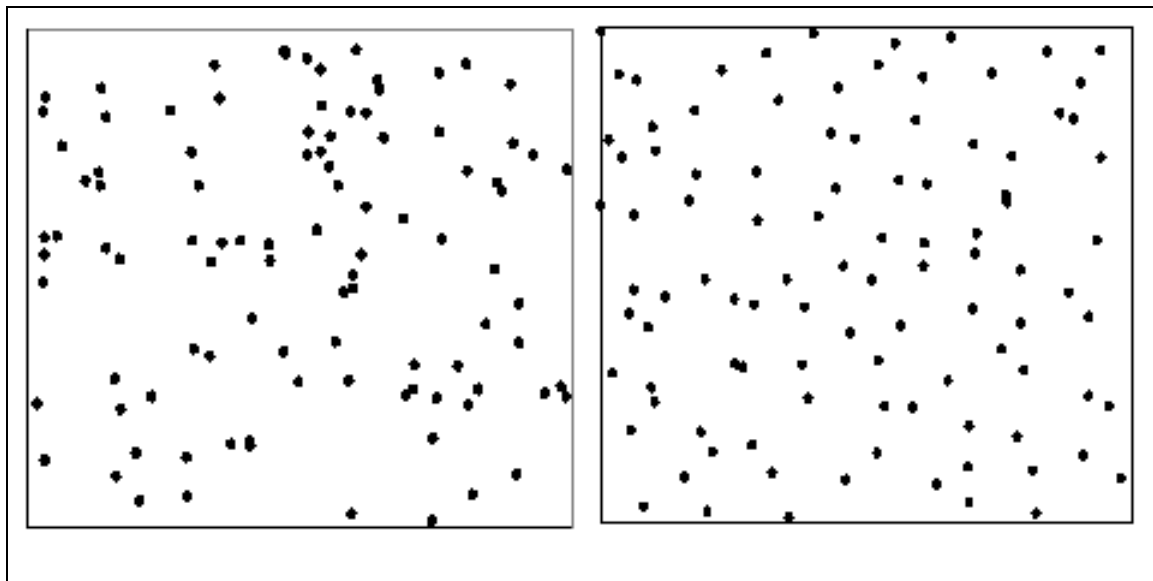


Abbildung 3 100 Zufallspunkte nach der reinen Zufallsverteilung (links) und der randomisierten Gleichverteilung

Abb. 3 zeigt auf der linken Seite ein Raster mit 100 Punkten, die nach dem reinen Zufallsprinzip generiert wurden, wohingegen die Punkte in der rechten Teilabbildung durch Simulation der randomisierten Gleichverteilung entstanden. Auf den ersten Blick sieht auch diese Punktwolke wie eine rein zufällige Ansammlung von Punkten aus, doch bei genauerem Hinsehen erkennt man, dass die Punkte viel gleichmäßiger über die Fläche verteilt sind als bei der reinen Zufallsverteilung, die typischerweise sowohl vergleichsweise große freie Flächen als auch Gebiete mit konzentriertem Vorkommen (Klumpungen) aufweist.

Die meisten der folgenden Ergebnisse sind über stochastische Simulation erzielt worden. Dabei wurde zur Erzeugung der benötigten Zufallszahlen der Standardzufallszahlengenerator von VISUAL BASIC unter EXCEL (VBA) benutzt, mit dem auch die beiden Beispiele oben erzeugt wurden.

3.3 Kartierungsaufwand

Der mit der Umsetzung einer Methode verbundene Kartierungsaufwand wird durch viele Faktoren beeinflusst. Ein wesentlicher Punkt ist sicher die Zugänglichkeit des Untersuchungsgebiets, ein zweiter die Kartierbarkeit der untersuchten Vogelart. Zu beiden lässt sich ohne weitere Spezifikation nicht viel sagen. Eine dritte sehr wichtige Größe ist die zu kartierende Fläche und die lässt sich gut bestimmen. Abbildung 4 zeigt vergleichsweise, welchen prozentualen Anteil der Gesamtfläche man durchschnittlich bei der SW-Methode und bei der KR-Methode abhängig von der Anzahl N vorhandener Vorkommensorte begehen muss.

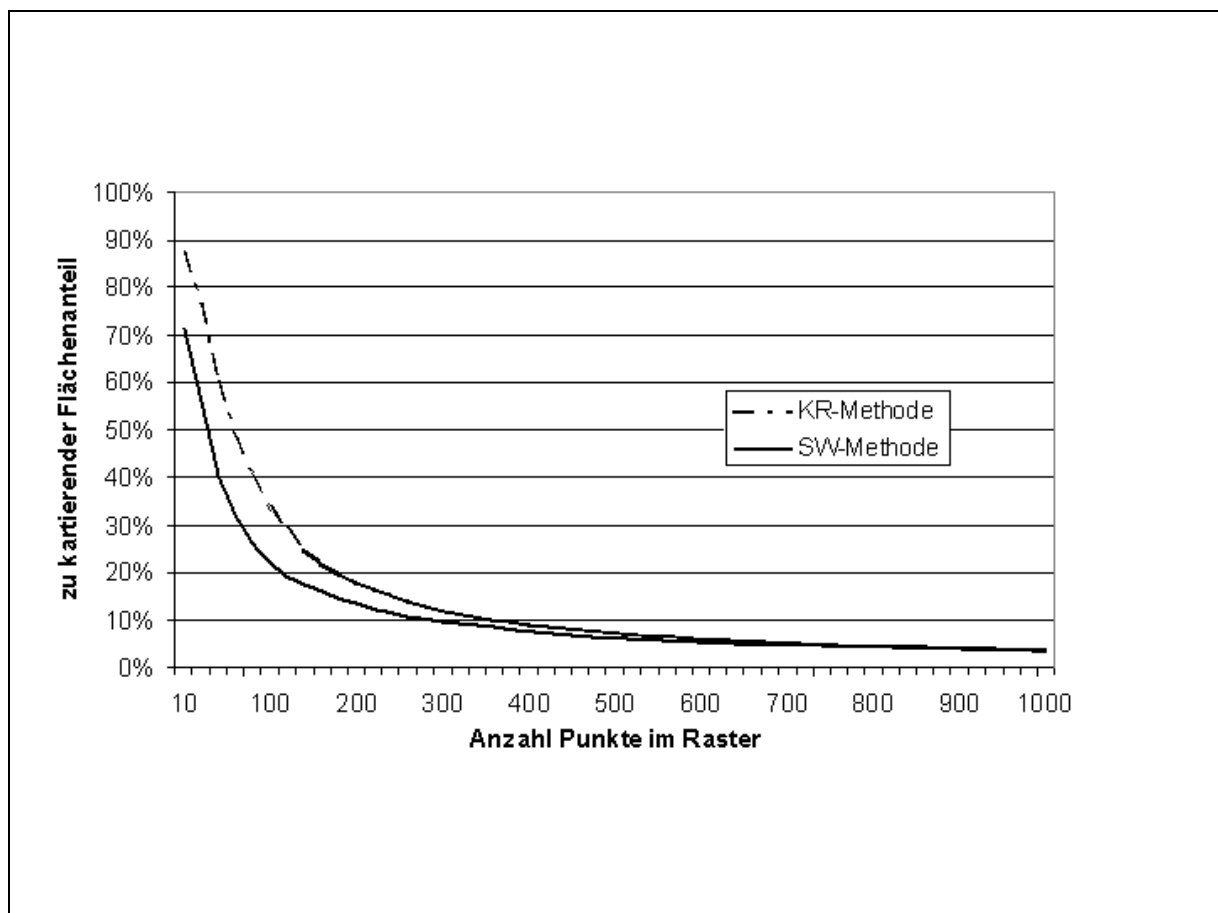


Abbildung 4 Kartieraufwand von SW- und KR-Methode bei reiner Zufallsverteilung

Hierbei wird von einer rein zufälligen Verteilung der N Punkte im (Groß-)Raster (also TK25-Viertel) ausgegangen. Unter dieser Voraussetzung kann für die Kleinrastermethode der Erwartungswert $E(KF_{KR_M})$ (= zu erwartender Durchschnittswert) der zu kartierenden Fläche als prozentualer Anteil der Fläche des Großrasters analytisch berechnet werden. Die Formel lautet

$$E(KF_{KR_M}) = \frac{36}{N+1} \left(1 - \left(\frac{35}{36} \right)^{N+1} \right)$$

(siehe Anhang 2). Eine derart allgemeine Aussage ist möglich, da es aufgrund der Verteilungsannahme völlig unerheblich ist, in welcher Reihenfolge eine Fläche abgesucht wird. Für große N ist $E(KF_{KR_M})$ näherungsweise gleich $36/(N+1)$ (schon bei $N = 150$ beträgt die Differenz lediglich 3,4 Promille). Für die Südwestmethode wurden für jeden betrachteten Wert von N 400 Simulationsläufe durchgeführt. Zur Validierung der Ergebnisse wurde in den Simulationsläufen auch die nach der KR-Methode zu bearbeitende Fläche protokolliert. Die Durchschnittswerte, die sich hieraus ergaben, lagen in allen Fällen nahe bei den theoretisch berechneten.

Man sieht, dass bei beiden Methoden der Aufwand umso geringer ist, je mehr Punkte vorhanden sind. Das war natürlich zu erwarten, denn beide Methoden setzen sich aus Suchvorgängen zusammen, die jeweils abgebrochen werden, wenn der erste Punkt gefunden ist, also die Art erstmals festgestellt wird. Bei großen N verlangen beide Methoden die Kartierung von weniger als 5% der Fläche. Das ist bei der KR-Methode ab ca. $N = 750$, bei der SW-Methode schon ab $N = 600$ der Fall. Bei einer kleinen Anzahl Punkte können beide Methoden sehr viel mehr Kartierungsfläche erfordern, aber immer ist die SW-Methode günstiger als die KR-Methode. Dieser Vorteil ist teilweise erheblich, wie z.B. die Werte der folgenden Tabelle zeigen:

N	100	200	300	400
SW-M.	22,4%	13,4%	9,6%	7,5%
KR-M.	33,6%	17,8%	12,0%	9,0%

Gerade für kleine N , wenn also die zu kartierende Fläche ohnehin groß ist, ist der Vorteil der SW-Methode gegenüber der KR-Methode besonders deutlich. Im Bereich zwischen $N = 50$ und $N = 100$ ist die abzugehende Fläche bei der KR-Methode im Schnitt sogar um mehr als 50% größer als bei der anderen Methode.

Untersucht man die gleiche Fragestellung unter Verwendung der randomisierten Gleichverteilung anstelle der reinen Zufallsverteilung, so stellt man zunächst fest, dass beide Methoden mit etwas weniger Kartieraufwand verbunden sind. Das war zu erwarten, denn bei dieser Verteilung sind die Punkte gleichmäßiger verstreut, woraus folgt, dass man bei der Suche auch schneller einen Punkt findet. Ansonsten ist das Ergebnis ähnlich wie oben, es sind die gleichen Vorteile der SW-Methode festzustellen. Dies zeigt die folgende Tabelle:

N	100	196	400
SW-M.	17,8%	10,7%	5,8%
KR-M.	26,7%	13,4%	6,5%

(Man beachte, dass N für die Simulation eine Quadratzahl sein muss)

Fassen wir zusammen:

Nimmt man die zu kartierende Fläche als alleinigen Maßstab, so erfordert sowohl bei angenommener reiner Zufallsverteilung als auch bei der randomisierten Gleichverteilung die Südwestmethode weniger Aufwand als die Methode der Kleinraster. Dieser Vorteil fällt vor allem bei kleineren N ins Gewicht.

Diese Bewertung ist aber im Hinblick auf die Praxis vermutlich etwas zu günstig für die Südwestmethode. Denn bei den Kleinrastern kann man frei wählen, wo man die Suche beginnen will, während bei der Südwestmethode immer vorgeschrieben ist, wo man weitersuchen muss. Man kann also nicht gezielt Stellen aufsuchen, an denen man die Art vermutet, sondern allenfalls Flächen ausschließen, die für die Art völlig ungeeignet sind (wie z.B. Getreidefelder für den Buntspecht). Diese vorgeschriebene Kartierungsreihenfolge ist zugleich Stärke (s.u.) und Schwäche der Südwestmethode. Hier zeigt sie sich als Schwäche. Sie wirkt aufwandserhöhend und setzt die Erreichbarkeit jedes Punktes des Rasters voraus. Es bleibt allerdings festzuhalten, dass in letzter Konsequenz auch die Kleinrastermethode die Erreichbarkeit jedes Punktes impliziert, auch wenn sie diese Voraussetzung ihrer Durchführbarkeit wesentlich seltener ausreizt.

3.4 Bestandssensitivität

Wir wenden uns jetzt der Frage zu, inwieweit die SW- und die KR-Methode Rückschlüsse auf die Bestandszahlen, also die Anzahl Punkte N zulassen. Es mag auf den ersten Blick überraschen, dass zwei so offenbar auf eine Verbreitungsaussage hin konzipierte Verfahren, die so viele Einzelstandorte „übersehen“, auch Rückschlüsse auf Bestandszahlen und –dichte zulassen. Das tun sie aber in gewissem Umfang, und zwar beide. Stellen wir zunächst die Frage nach einer Bestandsaussage in der folgenden Form:

Auf einem Raster werden nach einem Zufallsprinzip N Punkte verteilt. Dann wird das Raster nach der Südwest-Methode (oder der KR-Methode) kartiert, wobei k Punkte notiert werden. Welche Rückschlüsse erlaubt k auf N ?

Die Antwort auf die Frage ist natürlich abhängig von dem Zufallsprinzip, nach dem die N Punkte erzeugt werden. Es ist ferner zweckmäßig, die Frage zunächst umgekehrt zu stellen, also danach zu fragen, wie die Zahl der notierten Punkte von der vorhandenen abhängt. Diese Abhängigkeit ist charakterisiert durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten $P(k | N)$, dass bei N vorhandenen Punkten k notiert werden. Unter der Annahme der reinen Zufallsverteilung der N Punkte stehen hier für die KR-Methode wieder analytische Formeln zur Verfügung. Dann berechnet sich $P(k/N)$ für $N > 0$ und $0 < k < N$ nämlich gemäß der Maxwell-Boltzmann-Statistik (s. [FELLER 1970] S. 60)

$$P(k | N) = \binom{36}{k} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i \binom{k}{i} \left(\frac{k-i}{36} \right)^N$$

($\binom{36}{k}$ und $\binom{k}{i}$ der Binomialkoeffizient).

Alternativ zu dieser Formel kann $P(k | N)$ ausgehend von $P(1/1) = 1$ und $P(k/N) = 0$ für $k < 1$ oder $k > N$ auch rekursiv über die Formel

$$P(k | N + 1) = P(k | N) \frac{k}{36} + P(k - 1 | N) \frac{36 - (k - 1)}{36}$$

berechnet werden.

Abb. 5 zeigt die Werte von $P(k/N)$ für $N = 25, 50, 100, 200, 400, 800$ und 1.600 . Man sieht, dass die Fälle $N = 25, 50$ und 100 leicht anhand der festgestellten k unterschieden werden können. Würde man also, dass einer dieser drei Fälle vorliegt und erhielte man die Information, dass 34 Raster belegt sind, so wäre klar, dass 100 Punkte vorhanden sind. Aber auch ohne die Vorgabe der drei möglichen Werte käme man zu dem Schluss, dass deutlich mehr als 50 und weniger als 200 Punkte vorhanden sind. Hätte man die Möglichkeit, nicht nur einen Wert von k zu ermitteln, sondern eine Stichprobe zu nehmen, so könnte man N weiter eingrenzen. In dem Bereich bis zu $N = 200$ verschiebt sich die Verteilung von k stetig nach rechts, so dass sich schließlich anhand einer geeignet großen Stichprobe N in sehr engem Rahmen bestimmen lässt. Ab ca. $N = 200$ sieht es aber anders aus. Da kommt fast nur noch $k = 36$ vor, d.h. alle Kleinraster sind belegt. In diesem Bereich kann die Methode also nicht weiter differenzieren. Egal, ob 400 oder 1.600 Punkte im Raster sind: Mit der KR-Methode wird man in der Regel alle Felder besetzt finden und kann daraus lediglich den Schluss „vermutlich mehr als 200“ ziehen.

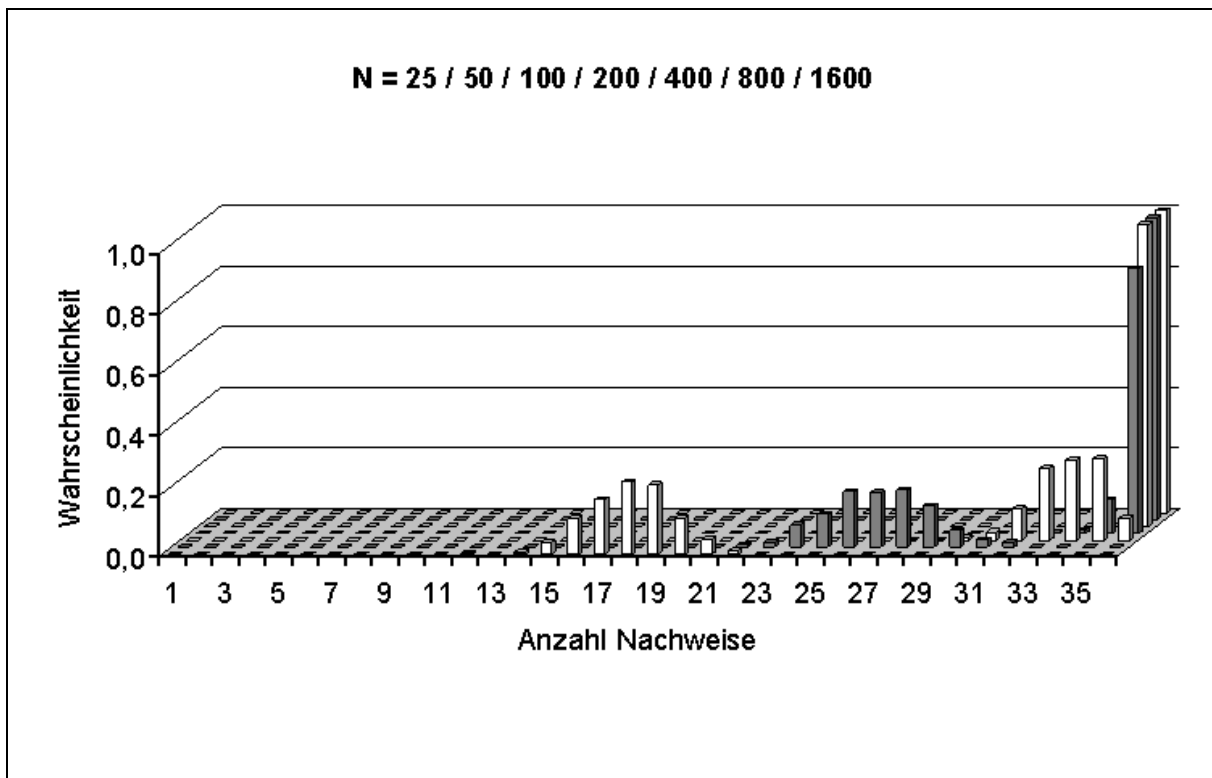


Abbildung 5 Verteilung der Anzahl Notierungen bei N zufälligen Punkten (KR-Methode)

Wie sieht es nun bei der Südwestmethode aus? Hier wurden die bedingten Wahrscheinlichkeiten $P(k/N)$ näherungsweise mit Hilfe von Simulation bestimmt (eine mathematisch interessante Frage ist, ob auch hier eine analytische Formel oder Näherungsformel bekannt ist). Abbildung 6 zeigt die Verteilung von k für die gleichen Werte von N wie es Abbildung 5 für die KR-Methode tut. Man sieht, dass hier alle Fälle klar getrennt werden können: $N = 25$ (vorderste Reihe) führt mit hoher Sicherheit zu einem Wert von k in der Nähe von 13, $N = 50$ zu einem Wert nahe bei 18 usw. Die Simulationsläufe zeigen, dass erst ab ca. $N = 1.300$ durchschnittlich mehr als 35 Notierungen zustande kommen, selbst bei $N = 2.000$ kommt es in mehr als 20 Prozent der Fälle nicht zur faktischen Maximalzahl von 36 Notierungen.

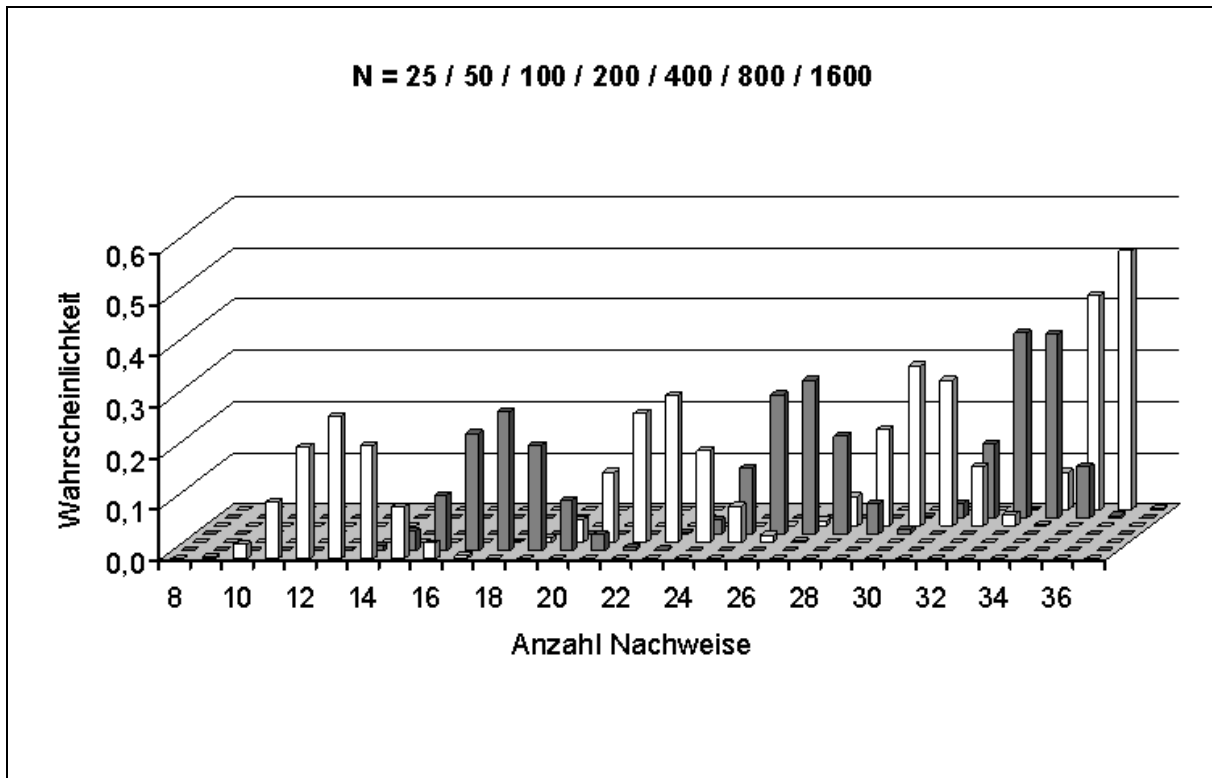


Abbildung 6 Verteilung der Anzahl Notierungen bei N zufälligen Punkten (SW-Methode)

Mindestens bis dahin ist das Verfahren also bestandssensitiv und der Wert $N = 2.000$ entspricht bei einer Rastergröße von 33 km² einer Bestandsdichte von 6 Brutpaaren / 10 ha. „Bestandssensitiv“ bedeutet hierbei nicht, dass auffällt, wenn in einem Raster statt 317 nur 309 Paare einer bestimmten Vogelart brüten, sondern es meint, dass größere prozentuale Änderungen, die in vielen Rastern gleichzeitig stattfinden, bei periodisch wiederholten Erfassungen auffallen. Abb. 7 zeigt vergleichend die Verteilungen von k bei $N = 60$ und $N = 80$ sowie $N = 600$ und $N = 800$. Anhand einer hinreichend großen Stichprobe können die beiden Fälle jeweils sicher unterschieden werden.

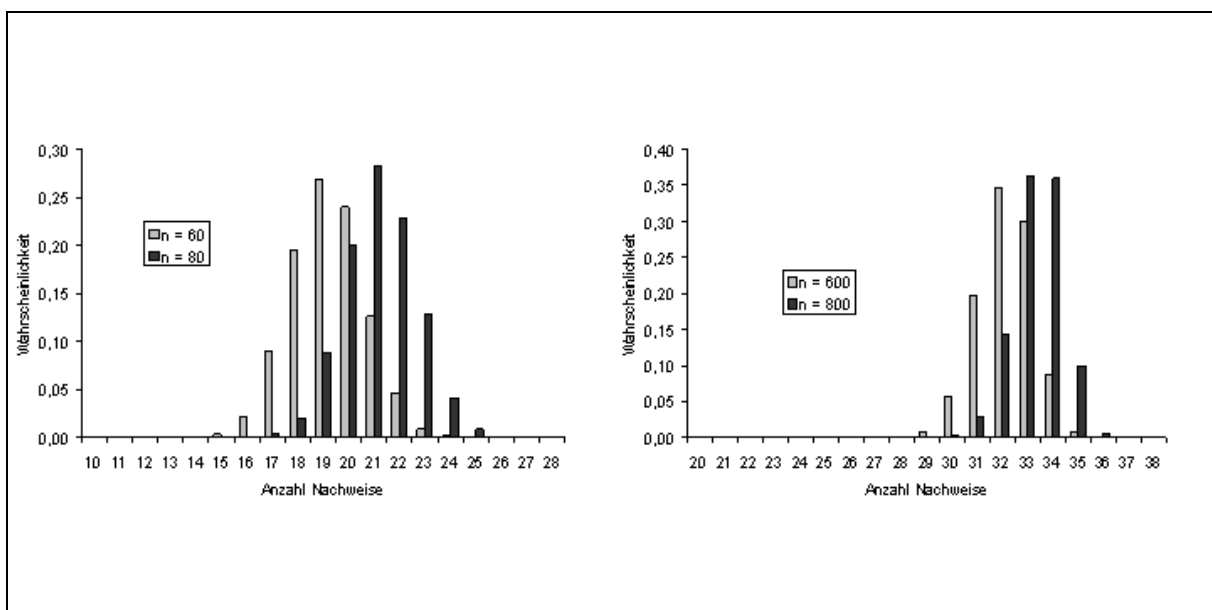


Abbildung 7 Verteilung der Nachweise bei 60/80 bzw. 600/800 Punkten

Die gepunktete Linie in Abbildung 8 zeigt den Verlauf des Erwartungswerts $E(k/N)$ von k in Abhängigkeit von N (gemäß Simulation). Die gestrichelten Linien darüber und darunter markieren jeweils den Erwartungswert von k bei einem um 30% höheren bzw. niedrigeren N . Man erkennt auch hier im gesamten dargestellten Bereich den deutlichen vertikalen Abstand, der mit wachsendem N nur langsam abnimmt.

Die Simulationsläufe führen in allen Fällen zu dem Schluss, dass k abhängig von N eine eingipflige glockenförmige Verteilung besitzt. Die Varianz hat ein knapp über zwei liegendes Maximum in der Nähe von $N = 50$ und sinkt ab dann mit wachsendem N stetig. Bei 100 ist die Varianz schon wieder < 2 und in der Nähe von $N = 750$ wird der Wert 1 unterschritten. Nirgends ist die Differenz zwischen 95-Prozent- und 5-Prozent-Quantil größer als 4.

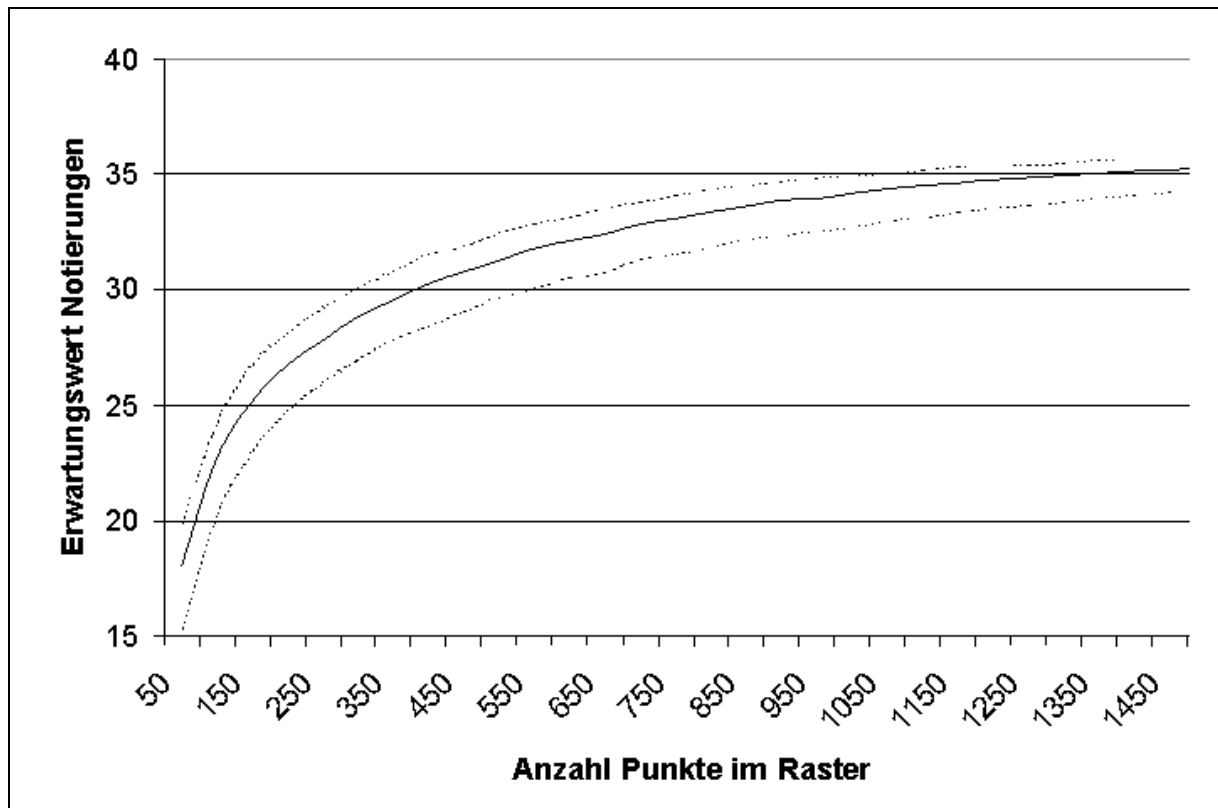


Abbildung 8 Erwartungswert der Anzahl Notierungen (SW-Methode, reine Zufallsverteilung)

Fassen wir zusammen:

Unter der Voraussetzung der reinen Zufallsverteilung ist die Anzahl k der nach der Südwestmethode notierten Vorkommen bis zu einer Anzahl von ca. $N = 2.000$ Punkten pro Raster bestandssensitiv, d.h. größere prozentuale Veränderungen werden in hinreichend großen Versuchsreihen erkannt. Unter diesem Aspekt ist die Südwestmethode der qualitativen Kleinrasterkartierung hoch überlegen, die nur bis etwa $N = 200$ bestandssensitiv ist.

Wenden wir uns jetzt der randomisierten Gleichverteilung zu. Hier ist zu erwarten, dass beide Verfahren an Bestandssensitivität verlieren, denn bei dieser Verteilung kommen Klumpungen nur sehr eingeschränkt vor, während sie bei der reinen Zufallsverteilung häufig auftreten. Und tatsächlich wirkt sich das bei der KR-Methode gravierend aus. Bereits ab $N = 100$ sind fast mit Sicherheit sämtliche Kleinraster besetzt. Auch die Südwestmethode hat bei dieser Verteilung schlechtere Werte, aber der Qualitätsverlust hält sich in Grenzen. Noch bis ca. $N =$

1.500 bleibt Bestandssensitivität gegeben. Betrachtet man analog zu Abbildung 6 die Situation bei $N = 25, 49, 100, 196, 400, 784$ und 1.600 (aufgrund der Konstruktion der Verteilung können nur Quadratzahlen verwendet werden), so sieht man, dass die Situation in den ersten fünf Fällen nicht viel anders aussieht als bei den entsprechenden Fällen der reinen Zufallsverteilung, es ist lediglich alles etwas nach rechts verschoben, d.h. die Erwartungswerte der Nachweisanzahlen sind jeweils etwas höher. Im Gegenzug sind dafür die Varianzen durchweg niedriger, der maximale Wert ist 1,79 bei $N = 36$. Abbildung 9 zeigt die Erwartungswerte $E(k/N)$ bis zu $N = 1.000$ in allen vier betrachteten Kombinationen Methode (SW-M. oder KR-M.) mit Verteilung (reiner Zufall oder randomisierte Gleichverteilung) und unterstreicht das bereits Gesagte. Man beachte die logarithmische Skalierung der N -Achse, die bewirkt, dass die beiden Linien zur SW-Methode fast geradlinig sind.

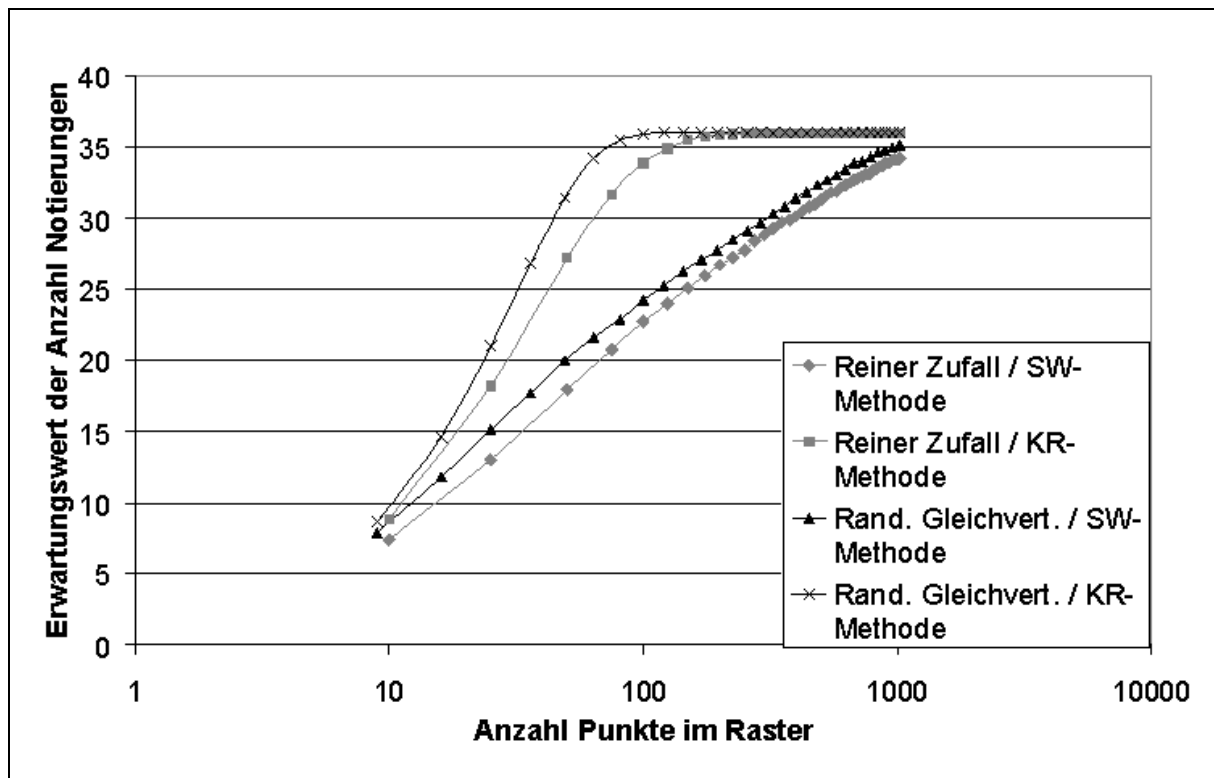


Abbildung 9 Erwartungswert der Anzahl Notierungen im Vergleich

Da die Südwestmethode bei beiden untersuchten Verteilungen eine ähnlich gute Bestandssensitivität hat, ist zu erwarten, dass sie diese Eigenschaft bei einer ganzen Reihe weiterer Verteilungen hat. Somit spricht sehr viel für die folgende Aussage:

Kartierung nach der Südwestmethode in regelmäßigen Zeitabständen stellt für viele häufige Arten ein sehr aussagekräftiges Bestandsmonitoring dar, das ohne EDV-Hilfe durchgeführt werden kann. Hierbei ist auf den empirischen Mittelwert und die empirische Verteilung (= Häufigkeitsverteilung) der Anzahl Notierungen je Raster zu achten.

Ausgenommen werden von dieser Aussage müssen Arten, die lokal in extrem hoher Dichte brüten, also vor allem Koloniebrüter.

Woher kommt die hohe Bestandssensitivität der SW-Methode? Sowohl Arealverluste als auch Bestandsdichteneinbußen führen dazu, dass man eine größere Fläche kontrollieren muss, um

die gesuchte Art zu finden. Das bewirkt, dass die 1-km-Kreise weiter auseinanderrücken und schließlich der nördlichste / östlichste oder nordöstlichste aus dem Raster gedrückt wird. Der Rückschluss von der Anzahl Notierungen auf die Bestandszahl ist in der Praxis allerdings nicht ganz so leicht wie es dieser Abschnitt vielleicht suggeriert. Das Hauptproblem ist dadurch gegeben, dass häufig weder reine Zufallsverteilung noch randomisierte Gleichverteilung auf das gesamte Raster zutreffen. Ein zweites – kleineres - Problem stellt die Tatsache dar, dass reale TK25-Viertel weder genau 33 km² groß noch exakt quadratisch sind. Daher können die Zahlen aus diesem Abschnitt nicht völlig exakt übernommen werden, obwohl die Aussagen tendenziell natürlich übertragbar sind und die Werte näherungsweise zutreffen. Beim Vergleich mehrerer Raster ist zu beachten, dass nicht alle TK25-Viertel gleich groß sind.

Diese Probleme erschweren aber nur die Hochrechnung auf den Bestand und die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Raster. Das Abzählen der Anzahl Notierungen ist nicht nur für Punkte in idealen Quadraten, sondern auch für Vogelreviere in realen Rastern ein aussagekräftiges Bestandsmonitoring, das den Vorteil hat, ohne EDV-Unterstützung durchgeführt werden zu können. Setzt man aber die EDV ein, kann man noch viel mehr erhalten. Darum geht es im nächsten Abschnitt.

3.5 Abzusuchende Fläche und Siedlungsdichte

Die jetzt folgenden Ausführungen gehen nicht mehr davon aus, dass ein Raster exakt 33 km² (3.300 ha) groß ist und genau quadratische Form hat. Die Überlegungen können außerdem sowohl auf ein einzelnes Raster als auch die Gesamtheit aller untersuchten Raster angewandt werden.

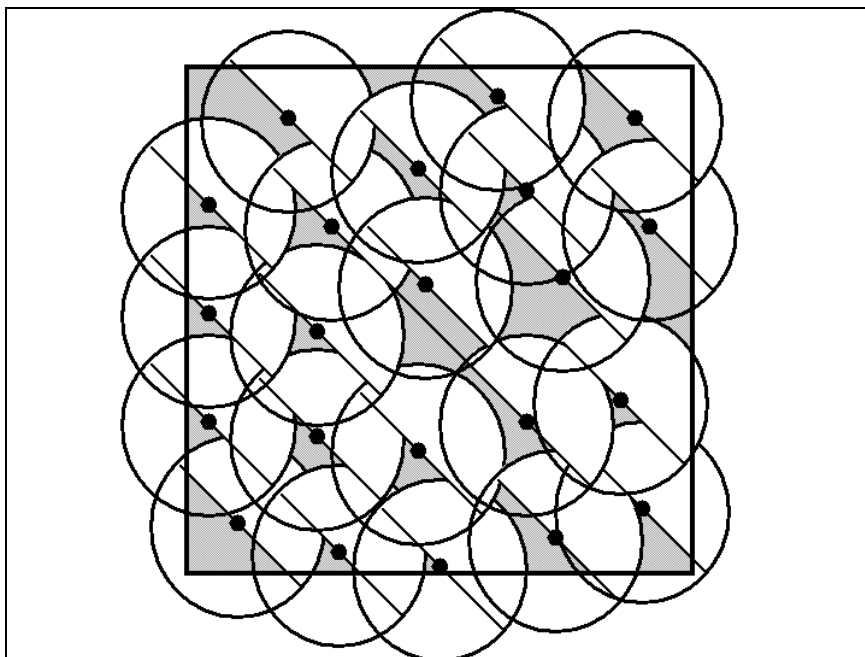


Abbildung 10 Die im Laufe der Kartierung abgesuchte Fläche

Im vorigen Abschnitt haben wir gesehen, dass die sich aus der Südwestmethode ergebende Notierungsanzahl je Raster eine in hohem Maße bestandssensitive Größe ist, selbst wenn sich daraus nicht notwendigerweise auf direktem Weg absolute Bestandszahlen und Bestandsdichten ableiten lassen. Solche Rückschlüsse sind zwar bei Kenntnis der wahrscheinlichkeitstheoretischen Verteilung grundsätzlich möglich, aber dieser Weg ist

vergleichsweise mühsam und mathematisch aufwändig. Es geht auch einfacher. Notiert man nur die Anzahl Punkte, die in den Rastern aufgeschrieben wurden, so lässt man einen wichtigen Teil der verfügbaren Information weg: die Position der Punkte. Kennt man diese nämlich (z.B. in Form der Gauss-Krüger-Koordinaten), so lässt sich daraus eindeutig die kartierte Fläche des Rasters rekonstruieren (s. Abb. 10). Hier erweist sich die Eigenschaft der SW-Methode, immer genau vorzuschreiben, wo kartiert werden muss, als Segen. Es ist überhaupt kein Problem, ein EDV-Programm zu schreiben, das anhand der Gesamtheit der Notierungen zu jeder einzelnen von ihnen die Fläche ermittelt, die abgesucht werden musste, bevor es zu der Beobachtung kam (auf diese Art wurden auch die Zahlen im Abschnitt über den Kartieraufwand ermittelt). Somit können die für die k Notierungen des Untersuchungsgebiets abgesuchten Flächen als Stichprobe zu der Zufallsvariablen „abzusuchende Fläche“

$AF =$ „Größe der Fläche (zufälliger Form), die man absuchen muss, um von einem (zufälligen) Punkt aus startend zum ersten Mal auf die gesuchte Vogelart zu stoßen“

angesehen werden. Unabhängig von wahrscheinlichkeitstheoretischen Annahmen charakterisiert eine solche Stichprobe das Vorkommen der Vogelart in dem Untersuchungsgebiet sehr aussagekräftig, da sowohl die gesamte Fläche berücksichtigt wird als auch lokale Bestandsdichteinformationen einfließen.

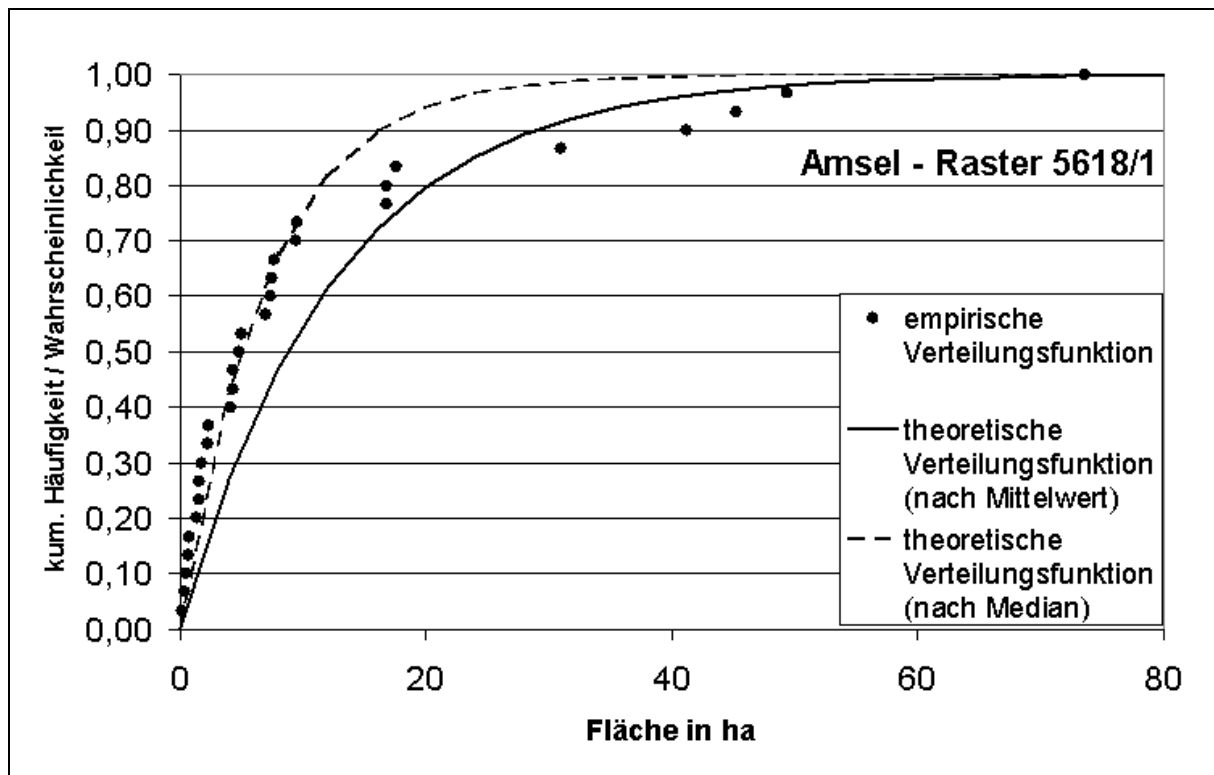


Abbildung 11 Empirische Verteilungsfunktion der abgesuchten Flächen

Die Statistik bietet viele Möglichkeiten an, die Stichprobe darzustellen, z.B. ohne Informationsverlust in Form der empirischen Verteilungsfunktion oder – sehr übersichtlich – nach Einteilung in Größenklassen in einem Stabdiagramm. Abbildung 11 enthält die empirische Verteilungsfunktion zur Amsel aus einem Raster des weiter unten beschriebenen Pilotprojekts (genau genommen nur die Sprungstellen der Funktion). Darüber hinaus enthält die Abbildung noch die theoretischen Verteilungsfunktionen, die sich auf Basis des

Mittelwerts bzw. des Medians der Daten aus dem Raster ergeben (s.u.). Abbildung 12 zeigt ein Stabdiagramm zu den gleichen Daten mit 6 Häufigkeitsklassen.

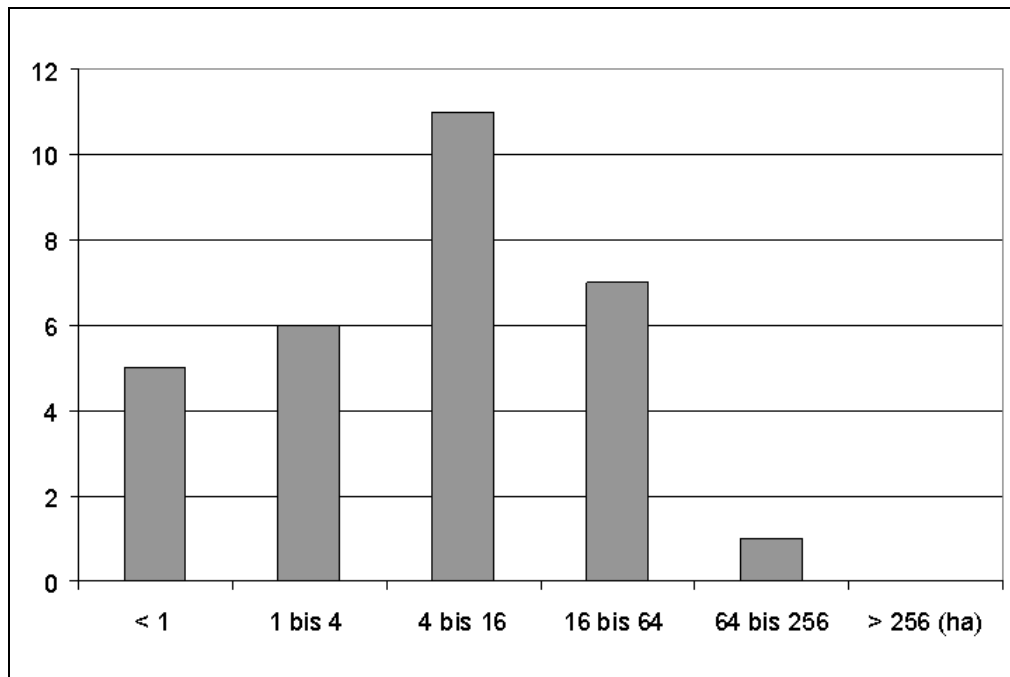


Abbildung 12 Größen der abgesuchten Flächen bis zur Erstbeobachtung (absolute Häufigkeiten eines Rasters)

Tendenziell gilt für beide Darstellungsformen, dass der linke Rand Aussagen über die Siedlungsdichte enthält, während die Daten am rechten Rand, die große Flächen repräsentieren, auf Gebiete hinweisen, in denen die Art nicht angetroffen wurde. Dies kann aber durch Elimination eines in diesem Zusammenhang unerwünschten Effekts der SW-Methode noch deutlicher herausgearbeitet werden.

Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten. Die für eine Notierung abgesuchte Fläche gemäß Definition ist nicht unbedingt das, was man sich zunächst darunter vorstellt. Hierzu betrachte man die linke Hälfte von Abbildung 13. Welche Fläche wurde für die Beobachtung 3 durchsucht? Spontan (und inhaltlich wohl auch richtig) wird man sicher sagen: Fläche A. Nach dem Wortlaut der SW-Methode ist es aber nur ein Teil der Fläche A, nämlich die Fläche A_2 im rechten Teil der Abbildung. Die andere Teilfläche A_1 gehört nämlich definitionsgemäß schon zur Fläche, die für Beobachtung 2 abgesucht wurde. Der Situation im Gelände und der tatsächlichen Vorgehensweise wird es sicherlich aber mehr gerecht, wenn man die gesamte Fläche A der Beobachtung 3 und der Beobachtung 2 nur die Fläche B zuordnet. Tut man das, so hat man eine „Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten“ durchgeführt. Abb. 10 zeigt also die nach Zusammenhangskomponenten bereinigten Flächen. Die so bereinigten Flächen charakterisieren die Gliederung der untersuchten Landschaft in der Regel aussagekräftiger als die nicht bereinigten. Bei der Abbildung 12 zugrundeliegenden Untersuchungsfläche zeigt sich nach der Bereinigung deutlich eine größere zusammenhängende Verbreitungslücke, die allerdings in dem entsprechenden Diagramm (Abb. 14) nicht so klar erkennbar ist, da sie knapp unter 250 ha groß ist. Gut erkennbar ist aber die starke Zunahme der ganz kleinen Flächen, was der Tatsache entspricht, dass man in geeigneten Gebieten sofort eine Amsel findet, wenn man sie sucht.

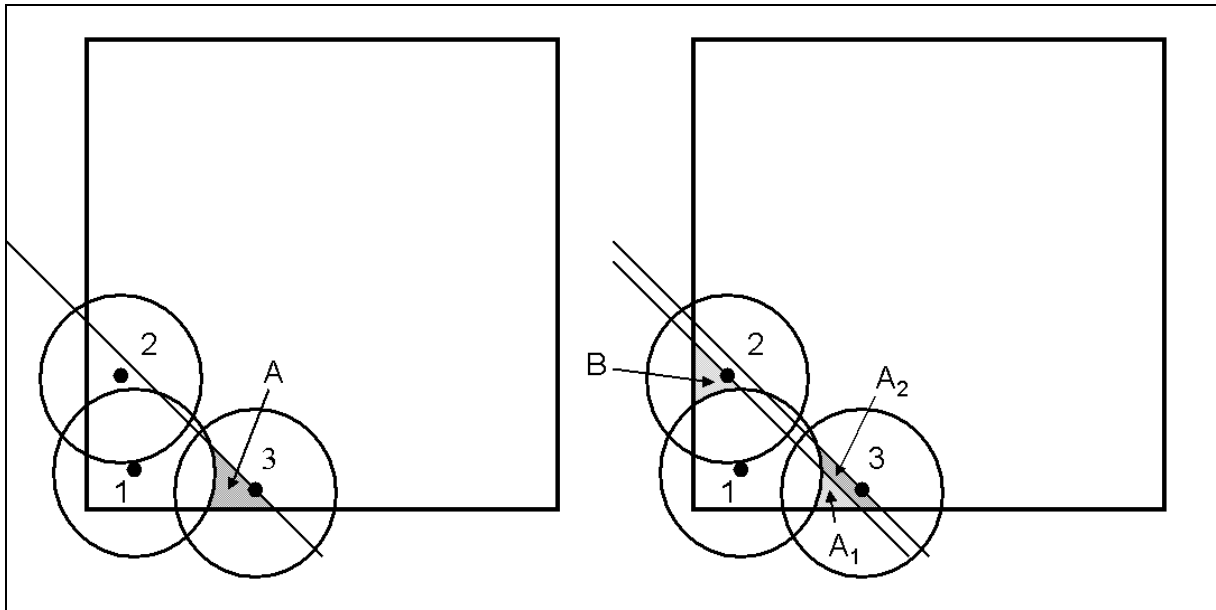


Abbildung 13 Abgeseuchte Fläche mit und ohne Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten

Wie schon oben gesagt, spiegeln die kleinen abgesehenen Flächen, also die Balken am linken Rand von Abb. 14 tendenziell die Siedlungsdichte in geeigneten Gebieten wider, während die Daten am rechten Rand auf Verbreitungslücken hinweisen. Im mittleren Bereich vermischen sich beide Effekte. Natürlich kann diese Einteilung im Einzelfall auch falsch sein, im statistischen Schnitt wird sie aber stimmen. Insofern ist auch plausibel, wie sich Bestandsveränderungen auf die Diagramme auswirken werden. Kommt es zu einer Abnahme der Siedlungsdichte, so werden vor allem weniger ganz kleine abzusuchende Flächen festgestellt werden bei einer Zunahme der mittleren und weitgehender Konstanz der großen Flächen. Bei Arealverlusten hingegen wird man eine relative Zunahme der größeren Flächen feststellen und/oder insgesamt eine Verschiebung der Balken nach rechts. In beiden Fällen wird – wie in dem vorigen Abschnitt dargestellt – die Gesamtzahl der Notierungen abnehmen, so dass sich zur Beurteilung der Entwicklung einer Untersuchungsfläche im Lauf der Zeit in den Stabdiagrammen die Verwendung absoluter Häufigkeiten statt relativer empfiehlt – so wie es auch in den Abbildungen 12 und 14 getan wurde. Für den Vergleich unterschiedlich großer Untersuchungsgebiete müssen natürlich die relativen Häufigkeiten betrachtet werden (zusammen mit der durchschnittlichen Anzahl Notierungen je Raster).

Noch eine Anmerkung zur Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten: Die obigen Ausführungen sollen nicht besagen, dass man diese Bereinigung grundsätzlich immer durchführen sollte. Je nach Weiterverwendung der Daten kann es auch vorteilhaft sein, sie zu unterlassen (Stichwort: Randomisierung, s.u.).

Biotoypbezogene Auswertungen Hat man ein geografisches Informationssystem (GIS) zur Verfügung und kann man in diesem System die Kartierung mit einer Biotopkartierung unterlegen, so können die in diesem Abschnitt besprochenen Auswertungen auch biotoypbezogen durchgeführt werden. Denn durch die punktgenaue Notierung der Beobachtungen lässt sich dann sowohl der Beobachtungsort einem Biotoyp zuordnen als auch der Anteil der verschiedenen Biotypen an der untersuchten Fläche bestimmen (und durch ein EDV-Programm in der Größe bestimmen).

Bestandshochrechnungen Alles bisher in diesem Abschnitt Gesagte setzt keinerlei wahrscheinlichkeitstheoretische Verteilungsannahmen voraus und ist letztlich nur eine

Beschreibung des Kartierungsergebnisses. Dennoch ermöglicht es, wie soeben dargestellt, für häufige Vogelarten ein effektives Bestandsmonitoring (außer für Koloniebrüter). Dies ist festzuhalten, bevor wir uns jetzt den Bestandshochrechnungen zuwenden, denn damit wird deutlich glatteres Eis betreten. Die Frage wird trotzdem in Angriff genommen, da man natürlich gerne die Anzahl der Brutpaare oder Reviere im Untersuchungsgebiet zumindest näherungsweise kennen würde. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, als es immer eine sehr gute Situation ist, wenn man den Zustand eines Systems durch eine einzige Zahl charakterisieren kann.

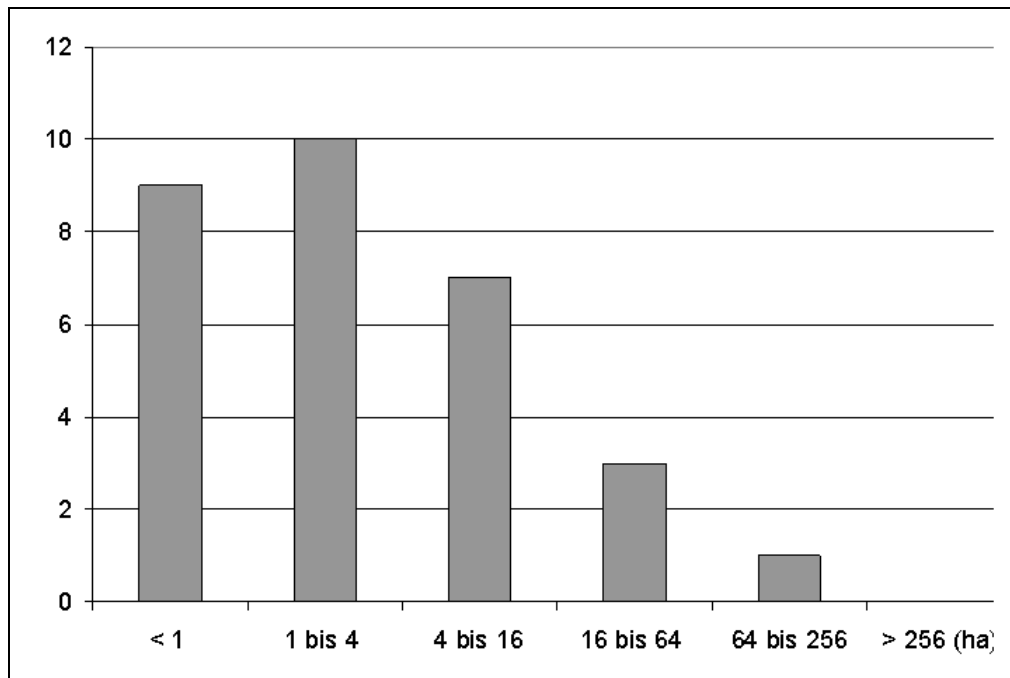


Abbildung 14 Größen der abgesuchten Flächen bereinigt nach Zusammenhangskomponenten

Unter der Voraussetzung, dass 1.) die Standorte (Reviere, Nester usw.) als rein zufällig verteilt angesehen werden können und es 2.) vertretbar ist, die über die SW-Methode ermittelten Größen der abgesuchten Flächen als unabhängige Zufallsstichprobe der „abzusuchenden Fläche“ (Zufallsvariable AF (s.o.)) anzusehen, so ist man in einer idealen Situation, da dann einfache Formeln zur Verfügung stehen (s. Anhang 1).

Punktschätzungen \hat{N} für den wahren Wert N der Punkte (Reviere) im Raster lassen sich z.B. auf Basis des Mittelwerts \overline{Fl} oder (vermutlich meistens besser) des Medians $F\tilde{l}$ der Größe der abgesuchten Flächen aufstellen:

$$\hat{N} = \frac{A}{\overline{Fl}} - 1 \quad \text{bzw.} \quad \hat{N} = \frac{-\ln(2)}{\ln(1 - F\tilde{l} / A)}$$

(A die Fläche des Rasters, \ln der natürliche Logarithmus). Neben den Punktschätzungen können auch Konfidenzintervalle bestimmt werden.

Die Frage ist also, ob die beiden Voraussetzungen gegeben sind. Zunächst ist festzuhalten, dass die zweite Bedingung aus der ersten folgt, sofern die Anzahl der vorhandenen Punkte (Reviere) deutlich größer ist als die Anzahl der möglichen Notierungen (ist z.B. nur ein Punkt im Raster, so kann man keinen weiteren finden, wenn man ihn entdeckt hat). Diese Bedingung dürfte bei den Vogelarten, für die die SW-Methode in Betracht kommt, erfüllt

sein. Zu einer geringfügigen Verzerrung (Bias) könnte es allenfalls durch frei gebliebene (d.h. nicht durch 1-km-Filter überdeckte) Flächen in der Nordostecke des Rasters kommen. Deren Wahrscheinlichkeit sinkt aber mit wachsendem N auch deutlich.

Das Territorialverhalten der untersuchten Art gefährdet die Unabhängigkeit der Stichprobe nicht, wenn es über den Radius des Filters, also 1 km, nicht hinauswirkt.

Es bleibt somit die Frage, wann es vertretbar ist, von der Zufallsverteilung auszugehen. Hierzu ist zunächst anzumerken, dass es eigentlich nicht so sehr darauf ankommt, ob die Vorkommen tatsächlich zufallsverteilt sind. Entscheidend ist vielmehr, ob sich die Kombination der Verteilung der Vorkommen mit dem Suchmechanismus so verhält wie bei der Zufallsverteilung. Durch eine entsprechende Suchmethode kann man nämlich immer künstlich die Situation einer Zufallsverteilung erzeugen.

Dies kann man an dem folgenden analogen Beispiel einsehen: Werden N Kugeln von einer Person X auf n durchnummerierte Fächer verteilt (so, dass maximal 1 Kugel in einem Fach liegt) und versucht danach eine Person Y anhand einer stichprobenartigen Kontrolle der Fächer die Zahl N zu schätzen, so wäre es für Y vorteilhaft (da dann analog zu oben Schätzverfahren zur Verfügung stehen), wenn er sicher sein könnte, dass die Stichprobe eine Zufallsstichprobe ist. Wählt Y ganz systematisch die Fächer mit den Nummern $1, \dots, k$ ($k =$ Stichprobenumfang), so hat er nur dann eine Zufallsstichprobe, wenn X die Kugeln schon zufällig verteilt hat. Wählt Y aber die Fächer, die er untersucht, ganz zufällig, so ist er völlig unabhängig davon, nach welchem Prinzip die Kugeln vorher verteilt wurden.

Die Bestandshochrechnung würde also kein Problem mehr bedeuten, wenn die Suchvorschrift der SW-Methode den Effekt hätte, dass sie in Kombination mit der realen Verteilung der Vorkommen einer Art hinreichend genau die reine Zufallsverteilung simuliert. Das schafft sie sicherlich nicht vollständig (dazu müsste sozusagen jeder einzelne Quadratmeter zufällig ausgewählt werden), aber sie wirkt darauf hin. Die sich im Lauf der Kartierung ergebenden zu untersuchenden Flächen sind von sehr unterschiedlicher Gestalt. Sofern man keine Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten durchführt, setzen sie sich häufig aus Teilen zusammen, die völlig verstreut über das Raster liegen. Es könnte also sehr wohl sein, dass selbst dann, wenn man bei einer Art nicht von einer Zufallsverteilung der Reviere/Nester sprechen kann, der soeben geschilderte **Randomisierungseffekt** der SW-Methode bewirkt, dass die Hochrechnung nach obigen Formeln gute Ergebnisse liefert.

Anhaltspunkte zur Beurteilung der Situation liefert der Vergleich der empirischen Verteilungsfunktion der festgestellten abgesuchten Flächen (ohne Bereinigung nach Zusammenhangskomponenten) mit der theoretischen:

$$F(x) = 1 - (1 - x/A)^N \quad (0 < x < A),$$

wobei der unbekannte Parameter N durch einen Schätzwert zu ersetzen ist (A die Größe des Rasters). Hierfür stehen statistische Testverfahren zur Verfügung, z.B. der Chi²-Anpassungstest (s. [BOSCH 1987]), bei dem für N der sich aus der Stichprobe ergebende Maximum-Likelihood-Schätzwert einzusetzen ist. Während in Abbildung 12 die festgestellte empirische Verteilung zur Amsel in einem Raster nicht sonderlich gut zur theoretischen Verteilung passt, zeigt Abbildung 15 einen aus dem gleichen Projekt entnommen Fall einer sehr guten Übereinstimmung zwischen der festgestellten Verteilung und der theoretischen. Man beachte auch, wie nahe hier die theoretischen Verteilungsfunktionen nach Mittelwert und Median beieinander liegen.

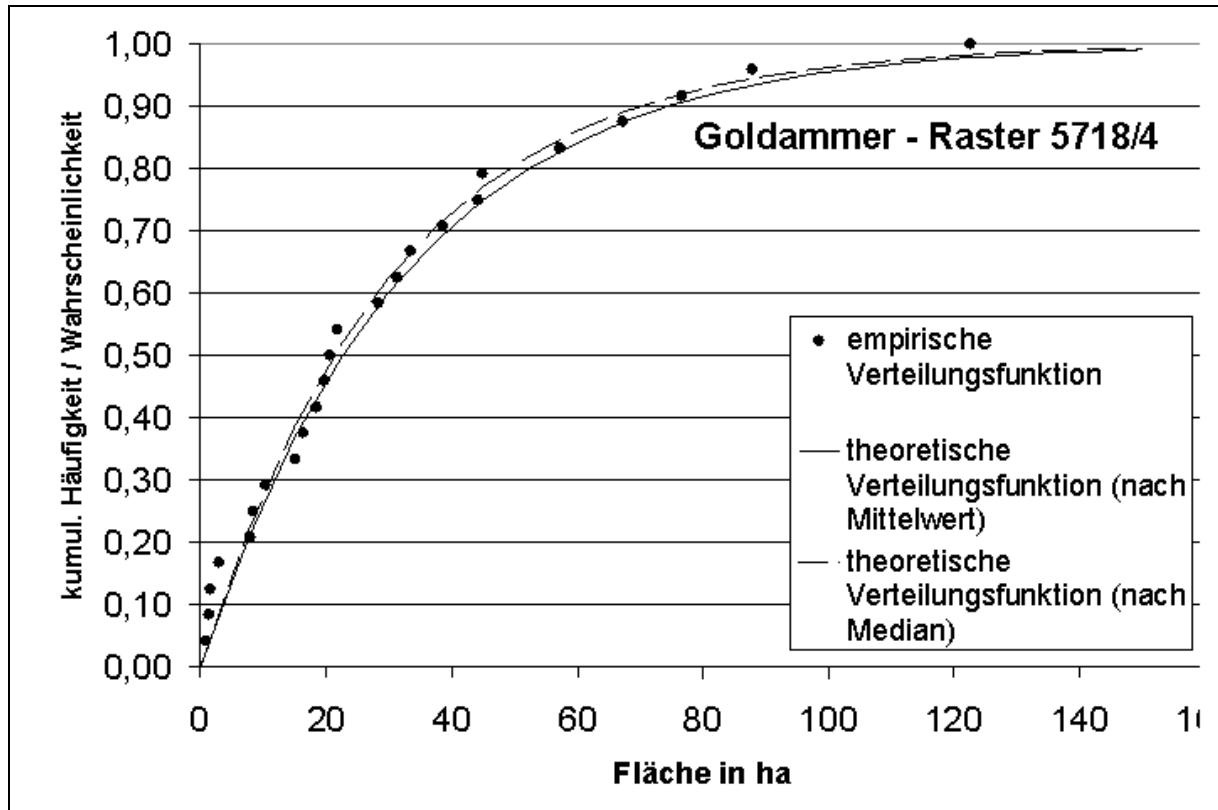


Abbildung 15 Empirische und theoretische Verteilungsfunktion (Beispiel aus dem Pilotprojekt)

Aussagekräftig ist auch ein Vergleich der empirischen Varianz der Größe der abgesuchten Flächen mit der theoretischen Varianz (s. Anhang 1). Ist die empirische Varianz signifikant kleiner als die theoretische, so spricht das für gleichmäßiger verteilte Vorkommen als es der Zufallsverteilung entspricht. So ein Ergebnis ist bei ausgeprägtem Territorialverhalten der untersuchten Art und annähernd einheitlicher Landschaftsstruktur zu erwarten. Eine hohe empirische Varianz hingegen ist ein deutlicher Hinweis auf eine im Untersuchungsgebiet stark schwankende Siedlungsdichte.

Ist es trotz Randomisierungseffekt der SW-Methode nicht angemessen, von der Zufallsverteilung auszugehen - wie es vermutlich bei Arten der Fall ist, die große zusammenhängende Teile des Rasters in hoher Dichte besiedeln und andere ebenfalls große Teile gar nicht - und lässt sich auch keine andere passende und gut berechenbare Wahrscheinlichkeitsverteilung finden, so liefert die SW-Methode immerhin noch genügend Anhaltspunkte für Ad-Hoc-Hochrechnungsmethoden, die sich zwar nur schwer hieb- und stichfest begründen lassen, die aber doch Plausibilitätsargumente für sich haben. Eine solche Methode wird in Anhang 3 vorgestellt. Es ist aber noch einmal zu betonen, dass eine solche Hochrechnung für das Bestandsmonitoring nicht unbedingt benötigt wird.

Fassen wir als Ergebnis dieses Abschnitts zusammen:

Aus den Notierungen der SW-Methode lässt sich zu der „Größe der Fläche, die man absuchen muss, um die untersuchte Art zu finden“ eine empirische Verteilung ermitteln, die Bestandsdichte und Verbreitung der Art aussagekräftig beschreibt und so (ohne weitere Verteilungsannahmen) ein effektives Bestandsmonitoring ermöglicht (bei häufigen Arten, die keine Koloniebrüter sind). (Zumindest) unter der Voraussetzung

der reinen Zufallsverteilung der Vorkommen einer Art lässt sich aus der Verteilung ferner auf einfache Weise der Gesamtbestand der Art im Untersuchungsgebiet schätzen.

4 Praxiserfahrungen aus einem Pilotprojekt

Wie die bisherigen Abschnitte gezeigt haben, sind die theoretischen Eigenschaften der Methode hervorragend, so dass also die Probleme eigentlich nur noch in der Praktikabilität liegen konnten. Um das zu testen, wurden im Rahmen eines Pilotprojekts im Frühjahr 2004 die Arten Amsel (*Turdus merula*), Dorngrasmücke (*Sylvia communis*) und Goldammer (*Emberiza citrinella*) in sechs TK-Vierteln des Landes Hessen nach der Methode erfasst (Raster 5518/2, 5618/1, 5619/1, 5718/4, 5818/1, 5818/2). Die Raster sind in ihrer Struktur durchaus unterschiedlich. Einige liegen in der zentralen Wetterau und somit in einer Ebene, andere am Mittelgebirgsrand (Taunus). Sie sind z.T. dicht besiedelt (Nähe Frankfurt), zum Teil sehr ländlich. Die Flächen außerhalb der Ortschaften sind zum Teil kleinflächig strukturiert, es kommen aber auch große Ackerflächen vor. Naturschutzgebiete und Wälder sind ebenfalls vertreten, keines der Raster besteht allerdings überwiegend aus Wald. Gezählt werden sollten Beobachtungen, die mindestens den Status „möglicherweise brütend“ der DO-G-Richtlinien rechtfertigten (s. [DO-G 1995]). Die im Rahmen dieses Pilotprojekts gemachten Erfahrungen sollen jetzt dargestellt werden.

4.1 Praktikabilität

Bereits vor der Durchführung des Pilotprojekts wurde überlegt, welche Probleme die praktische Umsetzung der Methode bereiten könnte. Hierbei kam die nun folgende Liste heraus. In der Darstellung werden die Überlegungen aus dem Vorhinein (mit Lösungsvorschlägen) jeweils den Erfahrungen aus dem Pilotprojekt gegenübergestellt.

Zeitaufwand *Vorüberlegung:* Je nach Gestalt des Rasters kann es mit viel Zeitaufwand verbunden sein, die geforderten Kartierungsflächen aufzusuchen. Eine Gegenmaßnahme könnte hier die Vergrößerung des Filterdurchmessers sein, wodurch aber auch natürlich die Aussagekraft der Kartierung sinkt (aber immer noch hoch sein kann).

Erfahrung Pilotprojekt: Der Zeitaufwand hielt sich in Grenzen. Im Durchschnitt lag er pro Raster bei ca 25 Stunden für alle drei Arten zusammen. Hierbei entfielen durchschnittlich 5 Stunden auf Fahrzeiten (insbesondere Positionswechsel), für die eigentliche Kartierung wurden also 20 Stunden benötigt. Fragt man nach dem erforderlichen Zeitaufwand für die Bearbeitung einer einzigen Art, so kann dafür keine Erfahrungszahl genannt werden, denn es wurden alle Arten gleichzeitig bearbeitet. Da die zu kartierenden Flächen häufig auseinander liefen, dürfte diese Zahl aber deutlich niedriger als 25 Stunden sein, wobei sich die Fahrzeiten aber nicht im gleichen Maße wie die Kartierzeiten reduzieren dürften. Entscheidend für den mit einer Art verbundenen Aufwand ist natürlich die Auffälligkeit der Art, die aufgrund des recht späten Kartierungszeitraums (Mai – Juni) nicht mehr bei allen Arten in optimaler Weise gegeben war.

Zugänglichkeit *Vorüberlegung:* Was tun, wenn Teilbereiche des Kartierungsgebiets unzugänglich sind? Es sind verschiedene Handlungsmöglichkeiten denkbar. Eine Ersatzfläche kann ausgelost oder nach fachlichen Kriterien ausgesucht werden. Notfalls und nur wenn es nicht zu häufig vorkommt, kann auch direkt ausgelost werden, welche Ergebnisse eine etwaige Begehung des unzugänglichen Gebietes gehabt hätte.

Erfahrung Pilotprojekt: Das Problem trat nicht ernsthaft auf. Keiner der Kartierer berichtete davon, dass bestimmte Teilflächen nicht beurteilt werden konnten. Auch wenn es nicht möglich war, jede Stelle direkt aufzusuchen, so war es dennoch immer möglich, auch diese Flächen mit Hilfe von Fernglas und Gehör zu beurteilen. Allerdings war es in einigen Fällen zeitaufwändig, zu den vorgeschriebenen Punkten zu gelangen.

Genauigkeit *Vorüberlegung:* Es muss sich noch erweisen, ob – vor allem bei sehr häufigen Arten – die Punktgenauigkeit der Beobachtungen in der erforderlichen Präzision überhaupt möglich ist. Vor allem auch: Vögel sind nicht nur statisch an einer Stelle. Welchen Punkt soll man bei einem mobilen Tier notieren? Diese Problematik bringt zugegebenermaßen eine gewisse Unschärfe in die Notierungen (es sei denn, man kartiert Neststandorte, was aber zu aufwändig und auch wegen der damit verbundenen Störung fragwürdig ist). Inwieweit sich das gravierend auswirkt, muss die Praxis zeigen. Man kann versuchen, dem durch Normierung entgegen zu wirken (z.B. Zentrum der Fläche, in der sich der Vogel aufhält oder der Punkt, wo der Vogel zuerst entdeckt wurde), vielleicht ist es aber auch das Beste, dies einfach dem einzelnen Kartierer zu überlassen.

Erfahrung Pilotprojekt: Dieser Punkt erwies sich als überraschend unproblematisch. Gearbeitet wurde mit (sogar noch etwas verkleinerten) TK25-Blättern, in die die Notierungen und anschließend mit einer Schablone die 1-km-Kreise eingezeichnet wurden. Bei dieser Genauigkeit fallen kleinere Positionswechsel von Singvögeln nicht ins Gewicht. Ohnehin sind singende Vögel eher stationär. Probleme gab es allerdings, wenn die Karte sich als nicht mehr aktuell herausstellte, was an einigen (wenigen) Punkten der Fall war. Mit einem GPS wurde nicht gearbeitet.

Welche Genauigkeit wurde bei der Kartierung erreicht? Ein Millimeter auf der TK25-Karte steht für reale 25m, ein Quadratmillimeter repräsentiert also eine Fläche von $625\text{m}^2 = 1/16\text{ ha}$. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Größe der kleineren der abgesuchten Flächen bei der Auswertung mit einer Abweichung von höchstens $1/2\text{ ha}$ (nach oben oder unten) getroffen wurde. Bei den größeren Flächen kann die Abweichung absolut etwas größer sein, prozentual ist sie sicher vernachlässigbar gering.

Übersehene Vögel *Vorüberlegung:* Dies kann passieren und man muss es akzeptieren. Es ist keinesfalls möglich, im Nachhinein Korrekturen anzubringen, da die Beobachtungen auf den vorhergehenden aufbauen. Man müsste sonst u.U. bei einem nachträglich festgestellten Vorkommen noch einmal ganz von vorne anfangen, da sich dadurch ganz neue Kartierungsflächen ergäben.

Aber es ist auch nicht schlimm, wenn nicht jeder Vogel entdeckt wird. Ist q die Wahrscheinlichkeit, dass bei einer Begehung ein bestimmtes Vorkommen entdeckt wird und besteht der Gesamtbestand im Kartierungsgebiet aus N Vorkommen, so ist die Situation so, als hätte der Gesamtbestand den Wert qN und es würde jedes Vorkommen entdeckt. Es dürfte in der Regel vertretbar sein, q auf Dauer als konstant anzusehen. Dann kann q in einer gesonderten (einmaligen) Erhebung ermittelt werden.

Erfahrung Pilotprojekt: Dieser Punkt ist im Gegensatz zu den bisherigen im Vorhinein unterschätzt worden. Bei der zukünftigen Durchführung eines Projekts nach der Südwestmethode sollte man in der Vorbereitungsphase mit Nachdruck darauf hinwirken, dass alle Kartierer ein möglichst gleiches und möglichst hohes „ q “ haben, also gleichartig kartieren und Vorkommen mit hoher Wahrscheinlichkeit finden. Es ist insbesondere darauf hinzuweisen, wie wichtig es ist, gerade bei der Kartierung in optimalen Biotopen einer Art auch wirklich das südwestlichste Vorkommen im zu untersuchenden Bereich zu finden, also auch in die „Ecken“ zu gehen. Nur dann liefert die SW-Methode aussagekräftige Ergebnisse

zur Bestandsdichte. Hierauf war vor dem Pilotprojekt nicht genügend deutlich hingewiesen worden, so dass sich insbesondere bei der Amsel sehr große Unterschiede zeigten.

Also: Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist unbedingt darauf zu achten, dass

- auch kleine und schwer zugängliche (Rest-)Flächen überprüft werden
- auch suboptimale, aber für die Art nicht unmögliche Flächen abgesucht werden
- konsequent nach dem jeweils südwestlichsten Vorkommen gesucht wird (und man insbesondere nicht mit einem guten (d.h. schon ziemlich im SW gelegenen Nachweis) zufrieden ist, wenn ein besserer noch nicht ausgeschlossen werden kann oder sogar wahrscheinlich ist
- andererseits die Grenzen der jeweils zu untersuchenden Fläche möglichst exakt eingehalten werden

Um die Vergleichbarkeit mit zukünftigen Untersuchungen zu gewährleisten, ist – wie bei anderen Erfassungsmethoden auch - ferner festzulegen und in der späteren Auswertung zu dokumentieren,

- ob Flächen mehrfach aufzusuchen sind, wenn man die Art nicht findet, obwohl man sie dort eigentlich erwartet hätte
- ob mit Klangattrappe gearbeitet werden soll /darf (ein zweischneidiges Schwert: einerseits wird die Nachweiswahrscheinlichkeit erhöht, andererseits besteht die Gefahr, Vögel anzulocken, die an der Stelle gar kein Revier besetzen)
- welche Beobachtungen zu notieren sind (in dem Pilotprojekt (s.o.) alle Beobachtungen, die einen Status „B“ (möglicherweise brütend) der DO-G-Richtlinien rechtfertigen, wie z.B. ein singendes Männchen)
- ob nur zu bestimmten Tageszeiten kartiert werden soll
- in welchem Zeitraum kartiert werden soll

Wenn machbar, ist es sicherlich sinnvoll, auf einer für alle Kartierer gleichen kleinen Probefläche eine Testkartierung durchzuführen. Dies erleichtert die Einordnung von bei der Auswertung zu Tage tretenden auffälligen Abweichungen und ermöglicht vielleicht noch Korrekturen.

Wie schon oben geschrieben, ist eine möglichst hohe Nachweiswahrscheinlichkeit anzustreben, da so genauere Resultate erzielt werden können, selbst wenn man kleine „q“-Werte in gewissem Rahmen rechnerisch ausgleichen kann. Die einfache Vorgehensweise wie in der Vorüberlegung beschrieben funktioniert nämlich nur bei einer reinen Zufallsverteilung. Zerfällt ein Raster aber z.B. einerseits in Flächen, in denen eine Art in hoher Dichte vorkommt, und andererseits in solche, in denen sie gar nicht vorkommt, so wird die Methode bei einem niedrigen „q“ zwar die Dichte in den besiedelten Gebieten gemäß dieser Nachweiswahrscheinlichkeit nur reduziert wahrnehmen, die Aufteilung in besiedelte und nicht besiedelte Gebiete wird aber trotzdem größtenteils richtig erfolgen. Dies hat zur Folge, dass eine einfache Hochrechnung in Form einer Multiplikation mit $1/q$ zu hohe Bestände ergeben wird.

Gleichzeitiges Kartieren mehrerer Vogelarten *Vorüberlegung:* Dies ist mit der Südwestmethode nur eingeschränkt möglich, da sich die Kartierungsorte dynamisch im Laufe der Kartierung ergeben und für die einzelnen Arten in der Regel unterschiedlich entwickeln werden. Die Südwestmethode sollte also vor allem geeignet sein für die gezielte Erfassung bestimmter einzelner Arten.

Erfahrung Pilotprojekt: So hat es sich im Verlauf des Projekts auch bestätigt. Die gleichzeitige Kartierung von drei Arten hat zwar sicherlich insgesamt Zeit erspart, wurde von den Kartieren aber auch durchwegs als anstrengend empfunden. Noch mehr Arten gleichzeitig zu bearbeiten, ist sicherlich nicht zu empfehlen.

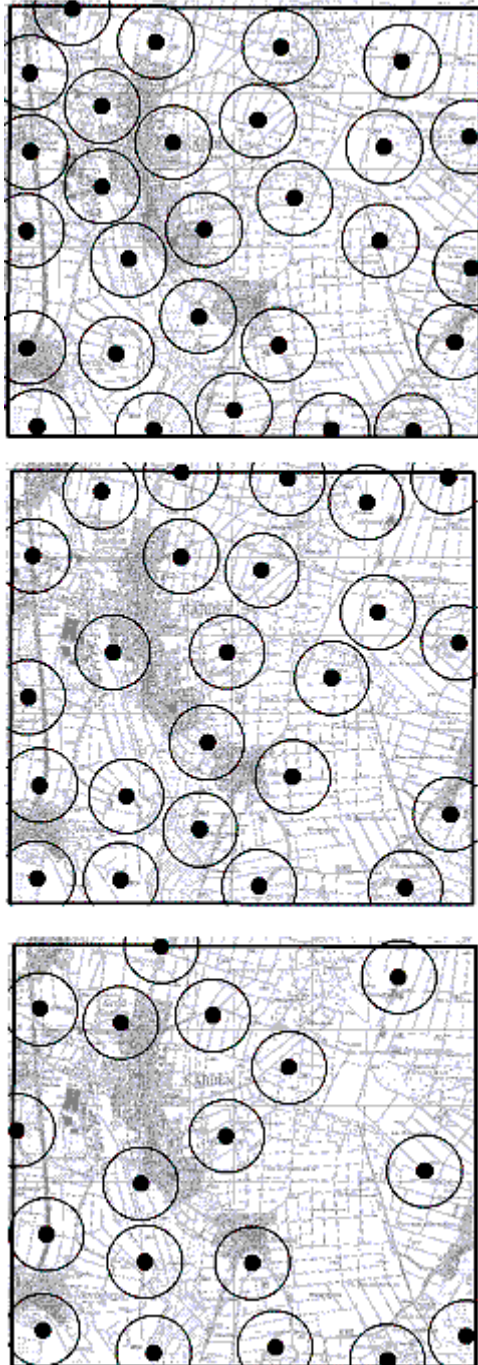


Abbildung 16 Verbreitungskarten von Amsel (*Turdus merula*), Goldammer (*Emberiza citrinella*) und Dorngrasmücke (*Sylvia communis*) in Raster 5718/4 (von oben nach unten)

4.2 Durchführung der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Wie schon an anderer Stelle geschrieben, wurden die Beobachtungen in TK25-Karten eingetragen und von dort in das EDV-System natis (s. www.natis.de) eingegeben. Hierbei war es für die Genauigkeit der Positionsdaten außerordentlich hilfreich, dass die verwendete Version 4.7 des Programmpakets die TK25-Karten (zumindest für Hessen) standardmäßig schon enthält und die Eingabe der Notierungen durch Markieren auf den Karten am Bildschirm erlaubt. Die weitere Verarbeitung erfolgte anhand der Gauss-Krüger-Koordinaten.

Als erstes wurden Verbreitungskarten erstellt, in denen die Beobachtungen mit einem Kreis vom Radius 500m (in der Wirklichkeit) umrahmt wurden. Dies ergibt eine sehr übersichtliche und suggestive Darstellung, denn ein System von Kreisen vom Radius 1 km hat genau dann die Eigenschaft, dass die Mittelpunkte der Kreise in keinem weiteren Kreis liegen, wenn die entsprechenden Kreise vom Radius 500m sich nicht überlappen. Abbildung 16 zeigt die Karten eines Rasters (5718/4) zu allen drei Arten Amsel, Dorngrasmücke und Goldammer. Man sieht, dass selbst für die „Allerweltsart“ Amsel noch ein aussagekräftiges Verbreitungsbild herauskommt. Hierbei ist nicht nur die sich durch die Gesamtheit der Kreise abzeichnende Fläche von Interesse, man beachte ebenfalls, wie nahe die Kreise zusammenliegen. Insbesondere im NW-Bereich der Karte liegen die Kreise so dicht gedrängt wie nirgends bei den anderen beiden Arten. Dies spiegelt die hohe Siedlungsdichte der Amsel in geeigneten Gebieten wider.

Die Karten wurden mit der Standard-Kartenfunktion des EDV-Programms natis erstellt. Für die weitergehende Datenanalyse wurden die Beobachtungsdaten exportiert und in EXCEL (z.T. mit VBA-Macros) weiterverarbeitet. Diese Weiterverarbeitung bestand vor allem aus einer Analyse der abgesuchten Flächen, da sich bei nur sechs bearbeiteten Rastern allein aus der Anzahl Notierungen je Raster keine großen Schlüsse ziehen lassen. Die folgende Tabelle und Abbildung 17 zeigen die absolute Aufteilung der abgesuchten Flächen des Rasters 5718/4

auf sechs Größenbereiche (bereinigt nach Zusammenhangskomponenten). Abbildung 18 zeigt die entsprechende Aufteilung für alle 6 Raster zusammen. Man erkennt das klar unterschiedliche Profil der Arten, auch wenn wohl nicht in allen Rastern und bei allen Arten konsequent „bis in die Winkel“ kartiert wurde (s.o.).

	< 1	1 bis 4	4 bis 16	16 bis 64	64 bis 256	> 256 (ha)
Amsel	4	7	8	8	1	0
Goldammer	2	3	5	9	5	0
Dorngrasmücke	0	0	5	8	3	2

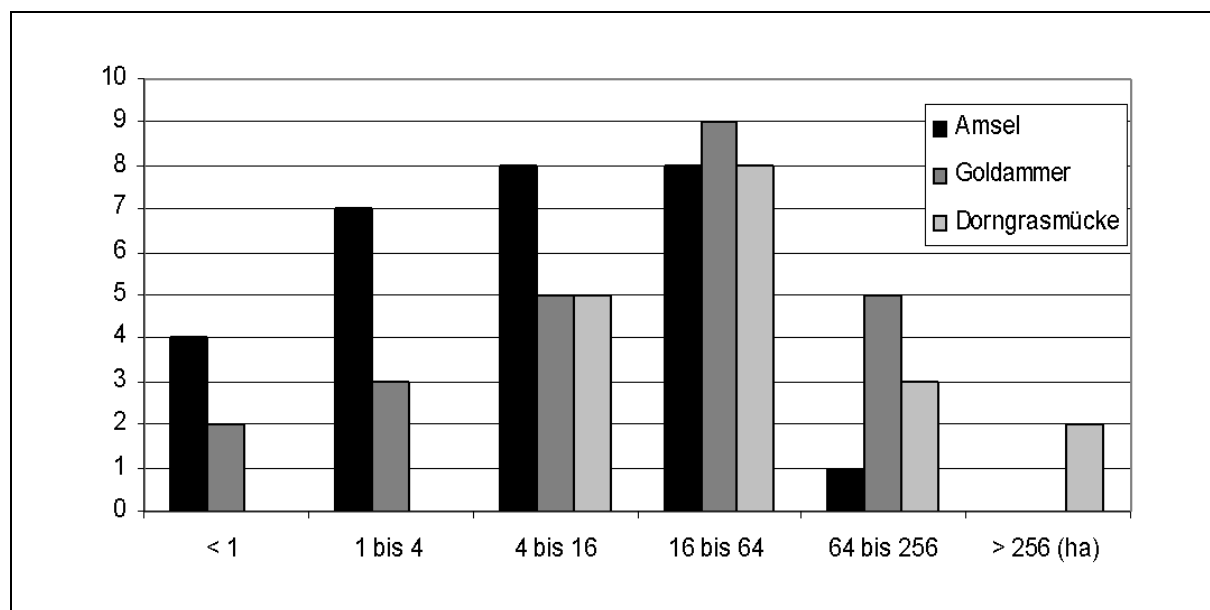


Abbildung 17 Größen der abesuchte Flächen in Raster 5718/4

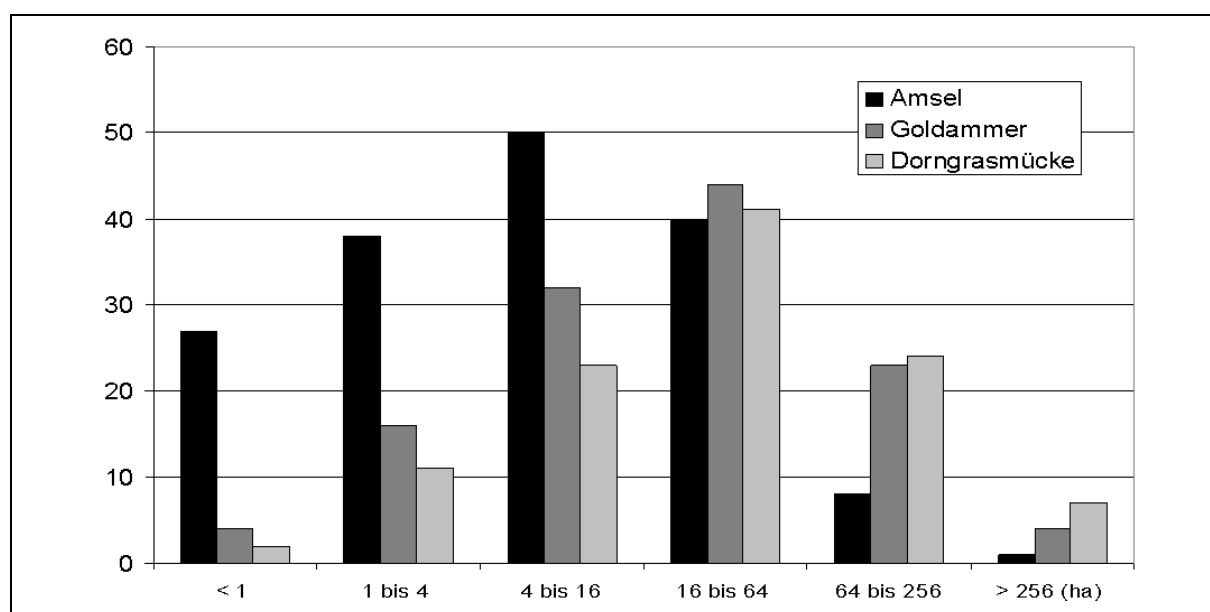


Abbildung 18 Größen der abesuchten Flächen in allen Rastern

Um den Randomisierungseffekt der SW-Methode (s. vorigen Abschnitt) zu testen, wurde der Chi²-Anpassungstest zur theoretischen Zufallsverteilung auf alle 18 Kombinationen

Raster/Art angewandt (mit drei Klassen), wobei einmal die Originalflächen und das andere Mal die nach Zusammenhangskomponenten bereinigten Flächen getestet wurden. Bei den letzteren war die berechnete Testgröße (die χ^2 -verteilt sein müsste) durchschnittlich um 50% höher als bei den unkorrigierten Werten. Das ist eine deutliche Bestätigung des Randomisierungseffekts. Ob das aber ausreicht, um nach der Zufallsverteilung auf die Bestände hochrechnen zu dürfen, sei dahingestellt. Als Schätzwerte für die Anzahl Reviere ergeben sich in Raster 5718/4 bei Verwendung des Mittelwerts die Zahlen 216 (Amsel), 51 (Dorngrasmücke) und 101 (Goldammer) Reviere, auf Basis des Medians sind die entsprechenden Werte 289, 67 und 107. Bei der Amsel sind diese Zahlen sicher zu niedrig, bei dieser Art sprechen auch andere Daten gegen die Zufallsverteilung (auch unter Zuhilfenahme der SW-Methode). Bei den anderen beiden Arten hingegen sieht es besser aus. Hier könnten die Zahlen aus dem Pilotprojekt andeuten, dass die Verteilungen der Reviere von Dorngrasmücke und Goldammer für die Belange der SW-Methode vielleicht sogar hinreichend nahe bei der Zufallsverteilung liegen, aber der Stichprobenumfang ist natürlich viel zu klein, um das mit Nachdruck zu behaupten.

Führt man vergleichend nach der Ad-Hoc-Methode aus Anhang 3 Hochrechnungen durch, so kommt man zu 722 Amsel-, 214 Goldammer- und 79 Dorngrasmückenrevieren, also bei zumindest zwei Arten zu deutlich unterschiedlichen Schätzwerten.

Und welche Zahlen stimmen nun? Stimmen überhaupt welche, zumindest näherungsweise?

Durch weitere Untersuchungen lässt sich das sicher klären und es lassen sich vermutlich noch bessere Methoden finden. Letztlich ist es aber gar nicht so entscheidend, dass die errechnete Bestandszahl hundertprozentig stimmt, wichtiger ist vielmehr, dass die Hochrechnungsmethode auf gravierende Veränderungen der Bestandssituation durch eine deutliche prozentuale Veränderung der errechneten Zahl reagiert. Und dies sollte bei beiden Verfahren der Fall sein.

5 Varianten

Das Südwestverfahren kann in vielfacher Hinsicht variiert werden. Dass Nordwest- Nordost- und Südostverfahren gleichwertige Alternativen sind, wurde schon erwähnt. Denkbar sind auch Süd-, Nord-, West- und Ostverfahren, aber dann gäbe es keinen wohldefinierten Startpunkt der Kartierung, man müsste am Anfang eine ganze Kante des Rasters ablaufen. Als Ausgleich für diese Mühe kann man bei diesen Verfahren bei sehr dichten Vorkommen eine höhere Nachweiszahl als 36 Notierungen im Raster erwarten (s. Abb. 5 in [HAUSMANN et al. 2004]). Grundsätzlich sollten auch diese Verfahren aber ähnliche Eigenschaften wie die Südwestmethode haben.

Als nächstes denkt man sicher an die Möglichkeit der Veränderung der Kantenlänge a der Raster und des Radius r des Filters. Die Wahl der TK25-Viertel als Raster erfolgte zunächst einfach deshalb, weil das eine gebräuchliche Bearbeitungseinheit ist und der Radius $r=1$ km hat sich immerhin schon in der Wetterau-Kartierung in der Praxis bewährt. Dennoch spricht natürlich nichts dagegen, diese Werte jeweils passend zu einer Untersuchung neu zu wählen. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass sich die bestandssensitive Aussagekraft der Größe $k =$ „Anzahl Notierungen eines Rasters“ je nach Wahl von a und r deutlich ändern kann. Die Aussagekraft der „abgesuchten Flächen“ bleibt jedoch prinzipiell unverändert, es ändert sich lediglich der Stichprobenumfang.

Steuernde Größe für den mit der Kartierung verbundenen Zeitaufwand ist vor allem der Radius r . Je größer er ist, desto größer ist die nach einer Notierung abgedeckte Fläche und so kleiner also die letztlich zu kartierende Gesamtfläche.

Ein interessanter Grenzfall ist gegeben, wenn r so groß gewählt wird, dass nach der ersten Beobachtung der Rest des Rasters abgedeckt ist. Dann reduziert sich das Südwestverfahren auf die Anforderung, das südwestlichste Vorkommen einer Art im Raster festzustellen. Das wäre z.B. eine sinnvolle Anforderung bei einem sehr großen Untersuchungsgebiet, z.B. einer nationalen Kartierung. Der Aufwand ist bei häufigen Arten gering, es ergibt sich aber das komplette Verbreitungsbild einer qualitativen Rasterkartierung und zusätzlich das Profil der „abzusuchenden Flächen“. Natürlich muss man bei dieser Methode nicht unbedingt am Südwesteck des Rasters mit der Suche beginnen, sondern kann auch – um die Zufälligkeit des zu kartierenden Gebiets zu verbessern – an einem Zufallspunkt des Rasters beginnen (muss dann aber gegebenenfalls über die Rastergrenzen hinwegkartieren).

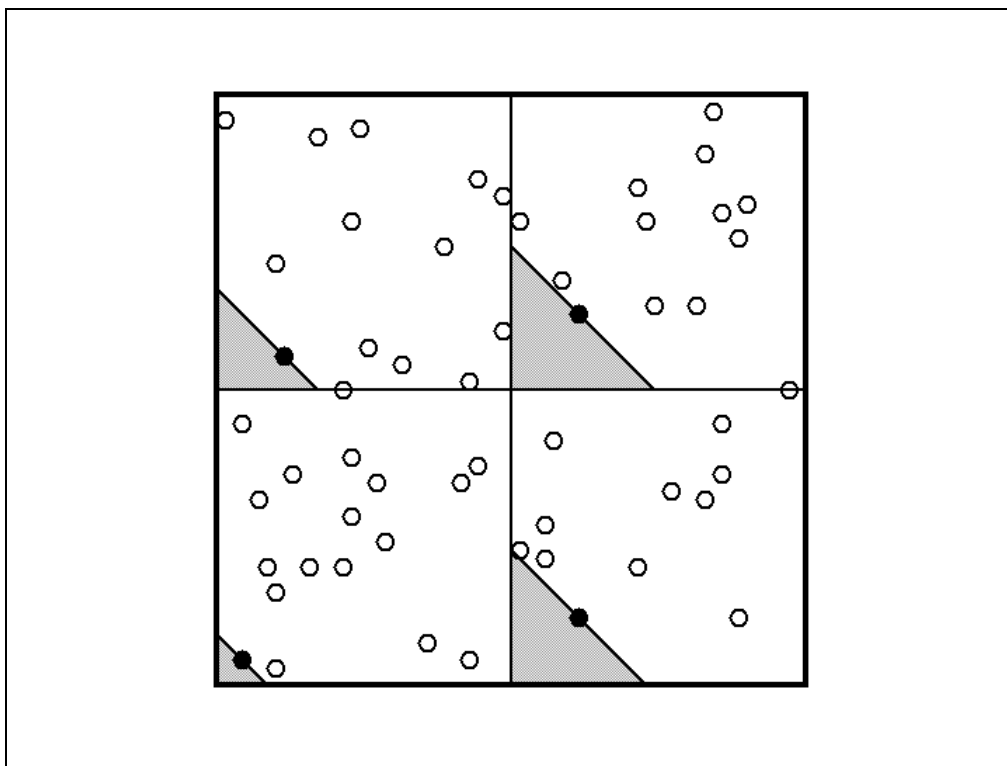


Abbildung 19 Eine Variante: Ermittle in Teilstreitern (hier 4) das jeweils südwestlichste Vorkommen

Überträgt man den soeben geschilderten Grenzfall auf die Methode der Kleinraster, verlangt man also in den Kleinrastern nicht irgendeinen, sondern den südwestlichsten Vorkommensort zu finden (s. Abbildung 19), so gewinnt dieses – in dieser Abhandlung so arg gebeutelte – Verfahren sehr erheblich an Aussagekraft, verliert aber damit auch seinen größten Vorteil gegenüber der Südwestmethode: Man darf nicht mehr dort suchen, wo man möchte, sondern muss sich in die Südwestecke des Kleinrasters begeben. Bezüglich der Aussagekraft der Größe „Anzahl Notierungen“ im Großraster (das durch die Kleinraster unterteilt wird) hat das so modifizierte Verfahren zwar die gleiche vergleichsweise schlechte Qualität wie die Original- KR-Methode, steht aber bezüglich der Überlegungen in dem Abschnitt „Abzusuchende Fläche und Bestandsdichte“ der Südwestmethode nur wenig nach, wenn auch die abzusuchenden Flächen nicht von zufälliger Gestalt und Lage sind. Die Zufälligkeit der Lage kann man allerdings wie oben geschildert leicht erreichen. Diese „Südwestmethode

im Kleinen“ kann eine sehr ernsthafte Alternative zur Original-Südwestmethode sein, wenn man mehrere Vogelarten erfassen will. Denn durch die im Vorhinein schon festgelegten Ausgangspunkte der Suche ist es leichter als bei der Südwestmethode, mehrere Arten gleichzeitig zu kartieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass im Nachhinein noch Korrekturen möglich sind, da die Notierungen nicht aufeinander aufbauen.

Vergleicht man die bei dieser Methode ermittelte Verteilung der „abzusuchenden Fläche“ allerdings mit einer nach der (Original-)Südwestmethode gewonnenen, ist Vorsicht geboten. Bei der (Original-)Südwestmethode ist die Anzahl der Datensätze je Raster variabel und nicht fest vorgeschrieben. Dies hat zur Folge, dass bei der Südwestmethode in den Diagrammen Gebiete mit hoher Vorkommensdichte vergleichsweise stärker vertreten sind als dünn besiedelte (sonst könnte die Anzahl Nachweise je Raster nicht bestandssensitiv sein und die Qualität der Verbreitungskarten würde ebenfalls sinken).

6 Fazit

Die Südwest-Methode ist eine Kartiermethode vor allem für häufige und weit verbreitete Arten, die gleichzeitig eine detaillierte Beschreibung der Verbreitung als auch sehr aussagekräftige Bestands- und Bestandsdichteinformationen liefert. Durch die dynamische Bestimmung der Untersuchungsflächen ist allein schon die Zahl der Notierungen je Raster in hohem Grad bestandssensitiv. Führt man darüber hinaus eine Analyse der „abgesuchten Flächen“ durch, so erhält man ein quantitatives Bestandsdichte- und Verbreitungsprofil, das in sich schon äußerst aussagekräftig ist, aber auch als Basis für Bestandshochrechnungen benutzt werden kann. Denn die Methode generiert Untersuchungsflächen, die – bei einfacher Rekonstruierbarkeit für die Auswertung - in Form und Lage als in hohem Grade zufällig angesehen werden können. Bei großen Untersuchungsgebieten werden mit hoher Sicherheit alle relevanten Biotoptypen und auch Übergangsstrukturen erfasst.

Die Südwestmethode ist einfach durchzuführen und der erforderliche Zeitaufwand im Gelände ist gemessen an der zu bearbeitenden Fläche geringer als bei einer qualitativen Rasterkartierung eines vergleichbaren Detaillierungsgrads, könnte aber bei schwerer Erreichbarkeit einzelner zu untersuchender Flächen deutlich steigen. In einem Pilotprojekt stellte das aber kein Problem dar, die Methode erwies sich hier als sehr praktikabel.

Die Südwest-Methode ist ideal geeignet zum umfassenden Bestandsmonitoring einzelner häufiger Arten, bedeutet aber natürlich bei flächendeckender Anwendung in einem großen Untersuchungsgebiet bei aller Effektivität einiges an Aufwand. Dieser kann durch Erhöhung des Radius der Filterkreise (evtl. kombiniert mit einer Erhöhung der Rastergröße) gesenkt werden.

Weniger geeignet ist das Verfahren zur gleichzeitigen Erfassung mehrerer Arten, da dann die zu bearbeitenden Flächen schnell auseinanderlaufen. Um den Aufwand in Grenzen zu halten, ist es dann erforderlich, das Verfahren zu modifizieren und immer wieder von synchronisierten Stellen aus weiter zu suchen. So könnte die Anforderung dann z.B. lauten, immer von vorgeschriebenen Punkten aus das südwestlichste Vorkommen der zu untersuchenden Arten zu melden. Für die Bearbeitung einer sehr großen Fläche, also z.B. eines gesamten Landes etwa könnte man von den Bearbeitern fordern, bei den Allerwärtsarten nicht nur anzugeben, ob die Art in (z.B.) einem TK25-Gebiet vorkommt, sondern die Koordinaten des südwestlichsten Vorkommens in dem Raster anzugeben. Dies würde mit wenig Mehraufwand zusätzlich zur qualitativen Verbreitungsaussage ein

quantifiziertes Verbreitungsprofil mitliefern, das außerdem noch einer differenzierteren Analyse zugänglich wäre.

Die grundlegende Idee der Südwestmethode und der anderen hier vorgestellten Verfahren zur simultanen Verbreitungs- und Bestandsdichteerfassung ist es letztlich, die maximale Durchdringung der Fläche – die für ein aussagekräftiges detailliertes Verbreitungsbild unabdingbar ist – dadurch mit vertretbarem Aufwand zu ermöglichen, dass an jeder Stelle die Bestandsdichteuntersuchung auf ein Minimum reduziert wird: Die Suche wird jeweils abgebrochen, sobald das erste Vorkommen gefunden ist.

Anhang 1: Eigenschaften von Zufallspunkten

Auf einer Fläche der Größe A Flächeneinheiten (FE) werden völlig zufällig und unabhängig voneinander N Punkte verteilt. Dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Teilfläche der Größe x FE keinen der N Punkte enthält, gleich $(1-x/A)^N$. Hieraus ergibt sich, dass die Verteilungsfunktion F der Zufallsvariablen

$AF =$ „Größe der Fläche (in FE), die man absuchen muss, bis man zum ersten Mal einen der N Punkte gefunden hat“

im nichttrivialen Bereich $0 < x < A$ die Gestalt $F(x) = 1 - (1-x/A)^N$ hat. Auflösen der Gleichung $F(x) = 1/2$ ergibt den Median der Verteilung

$$MD(AF) = A \cdot (1 - 0,5^{1/N}) \quad \text{und damit auch} \quad N = \frac{-\ln(2)}{\ln(1 - MD(AF)/A)} .$$

Ableiten der Verteilungsfunktion liefert die Dichtefunktion

$$f(x) = \frac{N}{A} \cdot \left(1 - \frac{x}{A}\right)^{N-1} \quad \text{für } 0 < x < A \text{ (und } f(x)=0 \text{ sonst),}$$

woraus sich der Erwartungswert $E(AF)$ der Verteilung gemäß

$$E(AF) = \int_0^A x \cdot f(x) dx = \frac{A}{N+1} \quad \text{ergibt, also:} \quad N = \frac{A}{E(AF)} - 1 .$$

Die Varianz $V(AF)$ von AF schließlich berechnet sich gemäß

$$V(AF) = \int_0^A x^2 \cdot f(x) dx - E(AF)^2 = \frac{A^2 N}{(N+1)^2 (N+2)} \approx \frac{A^2}{N^2} .$$

Für den bei den Bestandshochrechnungen beschriebenen Chi²-Test benötigt man noch den Maximum-Likelihood-Schätzwert \hat{N}_{ML} für die Zahl N der Punkte auf Basis einer Zufallsstichprobe (x_1, \dots, x_n) vom Umfang n zu AF . Die Likelihoodfunktion ist

$$LH(N) = \frac{N}{A} \cdot \left(1 - \frac{x_1}{A}\right)^{N-1} \cdot \dots \cdot \frac{N}{A} \cdot \left(1 - \frac{x_n}{A}\right)^{N-1} .$$

Nullsetzen der ersten Ableitung der Log-Likelihoodfunktion $L_{LH}(N) = \ln(LH(N))$ ergibt den Maximum-Likelihood-Schätzwert

$$\hat{N}_{ML} = \frac{-n}{\sum_{i=1}^n \ln(1 - x_i / A)}, \text{ der in der Nähe von } \frac{A}{(x_1 + \dots + x_n) / n} \text{ liegt, falls alle } x_i \text{ verglichen mit}$$

A klein sind, da für z nahe bei 0 gilt: $\ln(1+z) \approx z$.

Anhang 2: Erwartungswert der zu kartierenden Fläche bei der KR-Methode

Auch hier ist die Annahme, dass die N Punkte völlig zufällig und unabhängig voneinander auf das große Raster vom Flächeninhalt A verteilt sind, das in 36 gleich große Kleinraster unterteilt ist. Für jedes dieser Kleinraster ist der Erwartungswert $E(KF)$ der abzusuchenden Fläche gleich, so dass die gesuchte Größe $E(KF_{KR_M})$ also das 36fache dieses Werts ist. Für die Suche in den einzelnen Kleinrastern gelten die gleichen Wahrscheinlichkeiten wie für die Suche im großen Raster in Anhang 1, mit dem einzigen Unterschied, dass die Suche abgebrochen wird, wenn das Kleinraster komplett abgesucht ist. Dies geschieht mit Wahrscheinlichkeit $(35/36)^N$. Damit ergibt sich (s. Dichte in Anhang 1):

$$E(KF) = \int_0^{A/36} x \cdot f(x) dx + \frac{A}{36} \left(\frac{35}{36} \right)^N = \frac{A}{N+1} \left(1 - \left(\frac{35}{36} \right)^{N+1} \right), \text{ denn}$$

$$\int_0^{A/36} x \cdot f(x) dx = \int_0^{A/36} x \cdot \frac{N}{A} \left(1 - \frac{x}{A} \right)^{N-1} dx = \frac{A}{N+1} \left(1 - \left(\frac{35}{36} \right)^{N+1} \right) - \frac{A}{36} \left(\frac{35}{36} \right)^N.$$

Anhang 3: Eine Methode zur Schätzung der Bestandszahlen

Grundlegende Annahmen:

1. Im statistischen Schnitt sieht es nordöstlich eines Beobachtungspunktes nicht anders aus als südwestlich davon, d.h. dort wird die Art (im Durchschnitt) in der gleichen Siedlungsdichte vorkommen wie im untersuchten Gebiet.
2. Enthält eine Fläche (ein Revier) genau einen Punkt (den das Revier besetzende Männchen), so muss man durchschnittlich die Hälfte der Fläche absuchen, um den Vogel zu finden.
3. Je größer die für eine Beobachtung abgesuchte Fläche ist, desto weniger wird sie ausschließlich zum Revier des schließlich gefundenen Individuums gehören.

Die Formel:

$$\hat{N} = N_{beob} + \sum_{i=1}^4 NQ_i \cdot c_i \cdot Fl_{ag} / Fl_i$$

mit

\hat{N} = Schätzwert für die Zahl N der Reviere im Raster

N_{beob} = Anzahl der notierten Beobachtungen

Fl_{ag} = („Gesamtfläche des Rasters“ – „abgesuchte Fläche im Raster“) / N_{beob}
(die durchschnittlich durch einen 1-km-Filter abgedeckte Fläche)

Fl_i = die im i -ten Quartil der Beobachtungen durchschnittlich abgesuchte Fläche, also z.B. Fl_1 der Durchschnittswert der 25% kleinsten Flächen (nach Bereinigung der Zusammenhangskomponenten)

NQ_i = Anzahl der Notierungen im i -ten Quartil (die Gesamtanzahl der Beobachtungen)

muss nicht durch 4 teilbar sein)
 c_i = Abwertungsfaktor: $c_1 = 1/2$, $c_2 = 2/3$, $c_3 = 4/5$, $c_4 = 1$

Die Formel begründet sich wie folgt: Fl_{ag} steht für die in Annahme 1 aufgeführte Fläche nordöstlich des Beobachtungspunktes, wobei diese Fläche der durch den 1-km-Filter im NO abgedeckten Fläche gleich gesetzt wird. Darüber hinaus wird – noch einmal vereinfachend – angenommen, dass alle diese Flächen gleich groß sind. c_i/Fl_i ist die diesen Flächen unterstellte Siedlungsdichte, wobei der Faktor c_i die Annahmen 2 und 3 umsetzt. Die Zusammenfassung in vier Klassen dient der statistischen Glättung (sonst würde eine einzige abgesuchte Fläche von 0 qm eine unendlich große Bestandszahl errechnen). Dass in dieser Hochrechnung die nach Zusammenhangskomponenten bereinigten Flächen verwendet werden, ist durch Annahme 1 begründet, denn die unbereinigten abgesuchten Flächen sind häufig weit über das Raster verstreut und enthalten daher regelmäßig Teile, die sich in ihrer Biotopstruktur stark unterscheiden.

Beispiel: Die nach Zusammenhangskomponenten bereinigten abgesuchten Flächen zur Amsel in Raster 5718/4 hatten im Pilotprojekt die Größen (in ha): 0,01; 0,16; 0,23; 0,34; 1,21; 1,23; 1,85; 2,39; 2,78; 3,38; 3,65; 4,39; 4,41; 5,07; 5,88; 6,17; 7,84; 10,90; 15,78; 17,07; 18,01; 18,44; 20,83; 23,08; 24,31; 24,79; 30,52 und 171,38 (28 Beobachtungen). Da 28 durch 4 teilbar ist, haben alle Quartile $i=1, \dots, 4$ $NQ_i = 7$ Elemente. Man berechnet als Durchschnittsflächen

$$Fl_1 = (0,01 + 0,16 + 0,23 + 0,34 + 1,21 + 1,23) / 7 = 0,7186 \text{ ha}$$

und analog $Fl_2 = 3,7243$ ha, $Fl_3 = 11,6643$ ha und $Fl_4 = 44,7643$ ha (gerundet). Die gesamte abgesuchte Fläche beträgt 426,11 ha, die Gesamtfläche des Rasters ist 3306 ha. Damit hat die durchschnittlich abgedeckte Fläche den Wert $Fl_{ag} = (3306 - 426,11) / 28 = 102,8532$ ha. Durch Einsetzen ergibt sich hieraus die hochgerechnete Zahl $\hat{N} = 714$.

Danksagung. *Den Kollegen Ulrich Abel und Hartmut Siebert danke ich ganz herzlich für die kritische Durchsicht dieses Artikels.*

Literatur

- [BIBBY 1995] BIBBY C. J., BURGESS N. D., HILL D. A.: Methoden der Feldornithologie, Bestandserfassung in der Praxis, Radebeul 1995
- [BOSCH 1987] BOSCH K.: Elementare Einführung in die angewandte Statistik, 4. Auflage; Braunschweig 1987
- [DO-G 1995] DEUTSCHE ORNITHOLOGEN-GESELLSCHAFT (HRSG.): Qualitätsstandards für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in raumbedeutsamen Planungen; Minden 1995
- [FELLER 1970] FELLER W.: An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Vol. I, 3rd ed; New York 1970
- [HAUSMANN et al. 2004] HAUSMANN W., EICHELMANN R., HOGEFELD C., KÖHLER A., NORGALL A., ROLAND H.-J., RÜBLINGER B., SEUM U.: Die Brutvögel des Wetteraukreises zur Jahrtausendwende; Friedberg/H. 2004

Wilfried Hausmann

Fachbereich Mathematik, Naturwissenschaften und Datenverarbeitung

Fachhochschule Gießen-Friedberg

Wilhelm-Leuschner-Str. 13

61169 Friedberg / H.

email: wilfried@hausmann-bn.de

Friedberger Hochschulschriften

Bisher erschienen:

1. Hausmann, Wilfried: Das Nimspiel, der Assemblerbefehl XR und eine merkwürdige Art, zwei und zwei zusammenzuzählen, 1999
2. Abel, Ulrich, Ivan, Mircea: The asymptotic expansion for approximation operators of Favard-Szász type, 1999
3. Malerczyk, Cornelius: Visualisierungstechniken für den Sintflutalgorithmus, 2000
4. Börgens, Manfred; Hemmerich, Thomas; Ruessel, Ludwig B.: Use of discriminant analysis in forecasting the success of a software development project, 2000.
5. Hausmann, Wilfried: On the two envelope paradox, 2000
6. Abel, Ulrich: Asymptotic approximation by Bernstein-Durrmeyer operators and their derivatives, 2000
7. Behler, Klaus: Hybrid Welding Technology (WWT), a flexible method for industrial applications, 2000
8. Abel, Ulrich; Mircea, Ivan: Asymptotic expansion of the multivariate Bernstein polynomials on a simplex, 2000
9. Hoy, Annegret; Sabzehe, Afshin: Zwei Mutationsstrategien für ein kombiniertes Maschinenbelegungs- und Lagerhaltungsproblem, 2000
10. Hoy, Annegret: Zwei Mutationsvarianten für Zuordnungsprobleme, 2002
11. Zima, Stefan: Zeitläufte : Dokumente der Gewerbeakademie, Polytechnikum, Ingenieurschule, Fachhochschule, 2002
12. Zima, Stefan: Das rollende Rad, 2002
13. Börgens, Manfred: Computer aided quality : statistische Verfahren und optimierte Prüfmethodik, 2002
14. Hoy, Annegret: Spezielle Zuordnungsprobleme, 2002
15. Hoy, Annegret: Parametereinschätzung im quinären System der ozeanischen Mineralsalze, 2003
16. Becker, Markus; Hoy, Annegret; Weske, Henry: Mutationsexperimente für ein spezielles Rundreiseproblem, 2004
- 25, Teilbd. 1 Börgens, Manfred: 25 mathematische Probleme, 2003
- 25, Teilbd. 2 Börgens, Manfred: 25 mathematische Briefmarken, 2003
- 25 Börgens, Manfred: 25 mathematische Briefmarken, CD-ROM, 2003
- 26 Hausmann, Wilfried: Simultane Verbreitungs- und Bestandsdichteerfassung, 2005
27. Brenneke, Kay; Hoy, Annegret, Schubert, Mathias: Parameterschätzung mit Mutationsverfahren, 2006