

## Ein Versuchsplan zur Analyse der Diversität der Avifauna

Wolfgang Gerß, Heiligenhaus

### Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Artenvielfalt der Avifauna wurde ein varianzanalytischer Versuchsplan aufgestellt und in der Brutzeit 2007 auf ein Beobachtungsgebiet im niederbergischen Land angewendet. Auf zufällig ausgewählten Flächenstücken wurden die Anzahl und Häufigkeit aller Vogelarten gezählt. Als Einflussfaktoren der Artenvielfalt wurden die Art der Flächennutzung und der Zeitabschnitt (Saison) untersucht. Für jede Kombination einer Nutzungskategorie mit einer Saisonkategorie wurde die Dominanzdiversität (Gleichmäßigkeit der Häufigkeit der Arten) gemessen. Die Varianzanalyse zeigte neben den isolierten Einflüssen der beiden Faktoren auf die Artenvielfalt auch ihre wechselseitige Abhängigkeit auf. Das Konzept der Diversität wurde auch auf die Gleichmäßigkeit der räumlichen Verbreitung der einzelnen Vogelarten angewendet. Wie die Dominanzdiversität für die Artenvielfalt erweist sich die Verbreitungsdiversität als gut geeignetes Instrument zur Messung von Agglomerationen. Das auffälligste Ergebnis war, dass das Artenspektrum überall und zu jeder Zeit von den nicht ziehenden Arten und den Kurzstreckenziehern beherrscht wurde, während die fern ziehenden Spätheimkehrer nur sehr wenig in Erscheinung traten.

### Einleitung

Das Kernstück des hier beschriebenen Untersuchungsplans ist ein auch ohne Computer einfach anwendbares Rechenschema zur statistischen Auswertung avifaunistischer Daten. Für die primär methodologische Abhandlung ist es in erster Linie wichtig darzustellen, wie die Datenbeschaffung so zu gestalten ist, dass die Daten alle stichprobentheoretischen Voraussetzungen erfüllen. Die inhaltliche Aussagefähigkeit der Daten steht hier nicht im Vordergrund. Zur Veranschaulichung der Methode werden beispielhaft anhand von empirischen Daten Interpretationsmöglichkeiten und deren Grenzen aufgezeigt.

### Fragestellung

Zahlreiche Untersuchungen belegen seit vielen Jahren, dass in von Menschen durch Siedlung oder wirtschaftliche Tätigkeit intensiv genutzten Gebieten kaum die Anzahl der dort lebenden Vögel insgesamt, sondern eher ihre (habitatspezifische) Artenvielfalt bedroht ist (z.B. SUDMANN und HUSTINGS 2003, MESSER 2004). Sehr häufige Arten werden in der Regel immer häufiger und seltene immer seltener. Im

Ergebnis gibt es immer mehr Vögel in immer weniger Arten. Die Messung der Artenvielfalt (bzw. ihrer Veränderungen) erhält damit besondere Bedeutung. Dabei ist zwischen absoluter und relativer Artenvielfalt zu unterscheiden. Die absolute Artenvielfalt ist die Anzahl der im Untersuchungsgebiet vorkommenden – je nach Fragestellung brütenden und/oder überwinternden und/oder durchziehenden – Vogelarten ohne Rücksicht auf ihre Häufigkeit. Die relative Artenvielfalt (Diversität) misst die Verteilung der Vogelindividuen oder Brutpaare bzw. –reviere auf die verschiedenen Vogelarten. Zur empirischen Analyse der Diversität müssten im Idealfall avifaunistische Daten über alle Biotoptypen und alle Teilräume des Untersuchungsgebietes zu jeder Jahreszeit vorliegen. Da der Aufwand einer totalen Datenermittlung zu groß ist, muss man sich in der Regel mit ausgewählten Daten begnügen. Im Folgenden wird ein auf zufälliger Stichprobenziehung beruhender Untersuchungsplan beschrieben und angewendet, der aufzeigt, ob und wie die Diversität von bestimmten Einflussfaktoren abhängt. Dabei wird neben der herkömmlichen „Dominanz“-Diversität (je Teilraum des Untersuchungsgebietes Verteilung der Individuen auf alle vorkommenden Arten) auch die – hier so bezeichnete – „Verbreitungs“-Diversität (je Art Verteilung der Individuen auf alle Teilräume des Untersuchungsgebietes) gemessen. Die strikte Einhaltung des Untersuchungsplans ermöglicht nicht nur statistische Signifikanztests, sondern erfüllt auch die Voraussetzungen eines varianzanalytischen Versuchsplans. Die Varianzanalyse wurde ursprünglich zur experimentellen Erforschung der Wachstumsbedingungen von Pflanzen entwickelt (FISHER 1925). Sie kann aber auch auf nichtexperimentell gewonnene Beobachtungsdaten angewendet werden, so wie es in den Sozialwissenschaften geschieht (BORTZ 1993 S.221 ff.). Es spricht also grundsätzlich nichts dagegen, Ergebnisse von Vogelzählungen als Datenbasis einer varianzanalytischen Auswertung zu verwenden. Die hier verwendeten Daten stammen aus Zählungen, die im Jahr 2007 auf der gesamten Katasterfläche der Gemeinde Heiligenhaus (Kreis Mettmann) durchgeführt wurden. Das Beobachtungsgebiet ist mosaikartig kleinräumlich aus bebauten Flächen, Agrarflächen und Waldflächen zusammengesetzt und damit typisch für große Bereiche des niederbergischen Landes.

## Organisation der Datenbeschaffung

Das Gesamtgebiet der Gemeinde Heiligenhaus (27,47 km<sup>2</sup>) wurde in horizontal und vertikal gleichmäßig neben- und untereinander angeordnete quadratische Flächenstücke aufgeteilt. Die Größe dieser Planquadrate wurde so bemessen, dass die Fläche von ihrem Mittelpunkt aus in Sicht- und Hörweite liegen, aber von den Mittelpunkten der benachbarten Planquadrate so weit entfernt sein sollte, dass sie von dort aus weder optisch noch akustisch erreichbar war. Diese Forderung ließ sich näherungsweise erfüllen, wobei geringfügige Überschneidungen der Einzugsbereiche der einzelnen Flächenstücke je nach Topographie, Vegetation und Bebauung der Landschaft nicht vollständig vermieden werden konnten. Die Kantenlänge der Planquadrate betrug einheitlich 268 m. Wegen des unregelmäßigen Verlaufs der Gemeindegrenze sind die dort liegenden Planquadrate unvollständig. Insgesamt wurden 382 zeilenweise angeordnete Quadrate festgelegt und mit laufenden Num-

mern gekennzeichnet. Das in der obersten (nördlichsten) Zeile links außen (am weitesten im Westen) stehende Quadrat erhielt die Nummer 1, das rechts daneben stehende Quadrat die Nummer 2 usw. Nach abgeschlossener Nummerierung dieser ersten Zeile wurde die nächst folgende Nummer dem in der darunter liegenden zweiten Zeile rechts außen (am weitesten im Osten) stehenden Quadrat zugewiesen; das links daneben stehende Quadrat erhielt die darauf folgende Nummer usw. In der dritten Zeile wurde wieder von Westen nach Osten, in der vierten Zeile von Osten nach Westen nummeriert usw. Diese serpentinartige Nummerierung von Flächenstücken in Nord-Süd- und West-Ost- Richtung hat vor allem in der Agrarstatistik eine lange Tradition. Dort wurden auf diese Weise die datenmäßigen Grundlagen für die Ziehung von Stichproben mit Hilfe von Zufallszahlentafeln geschaffen (GERSS 1977 S. 106 ff). Dementsprechend wurden hier aus den von 1 bis 382 durchnummerierten Planquadraten einzeln nacheinander 60 zufällig ausgewählt. Die vorgegebene Anzahl 60 hat die für die weitere Planung nützliche Eigenschaft, dass sie besonders vielfältig aufteilbar ist. Für die ausgewählten Quadrate wurden außer den geographisch bestimmten Nummern (1 bis 382) auch die Reihenfolge der Stichprobenziehung angegebende laufende Nummern (1 bis 60) registriert. Jedes ausgewählte Quadrat wurde in der Vegetationszeit des der geplanten Vogelzählung vorausgehenden Jahres verbal beschrieben. Beispiele sind:

- Nr. 52/327 (d.h. Planquadrat Nr. 327, als 52. Stichprobeneinheit gezogen): Parkartige Gärten mit Laub- und Nadelbäumen, einige freistehende kleine Einfamilienhäuser
- Nr. 31/382: Ackerfläche, weitläufig umgeben von Baumreihen und Büschen
- Nr. 55/161: Dicht wachsender hoher Mischwald, vorwiegend Buchen mit einigen verstreuten Fichten, großer Ilexbestand, Hanglage

Dazu wurde jeweils geschätzt, welche Anteile des Flächenstückes auf die drei Kategorien Siedlung, Wald und Agrarland entfielen. Die 60 Quadrate wurden sodann gleichmäßig auf diese drei Nutzungskategorien aufgeteilt. Die Kriterien für diese Aufteilung mussten so festgelegt werden, dass zu jeder Kategorie 20 Quadrate gehörten. Zur Erreichung dieses Zieles erwies es sich als zweckmäßig, das zu klassifizierende Quadrat der Kategorie Siedlung zuzuordnen, wenn der Flächenanteil der Siedlungen einschließlich der Hausgärten und sonstigen zugehörigen Freiflächen mehr als ein Viertel betrug, das Quadrat der Kategorie Wald zuzuordnen, wenn der Flächenanteil von Wald und Gebüsch mehr als die Hälfte betrug, und das Quadrat der Kategorie Agrarland zuzuordnen, wenn der Flächenanteil von Acker, Wiesen und Weiden mehr als zwei Drittel betrug. So wurde zum Beispiel das Quadrat Nr. 52/327 als Siedlung, das Quadrat Nr. 31/382 als Agrarland und das Quadrat Nr. 55/161 als Wald klassifiziert. Diese Abgrenzung der Nutzungskategorien ist keine allgemeine Empfehlung, aber auch nicht willkürlich, sondern ergibt sich je nach dem empirischen Sachverhalt aus der modellbedingten Notwendigkeit der gleichmäßigen Aufteilung der Stichprobe.

Die 20 Quadrate jeweils einer Nutzungskategorie wurden gleichmäßig auf vier Saisonkategorien aufgeteilt. Als Saisonkategorien galten gleich lange Zeitabschnitte,

die zusammen die Hauptbrutzeit (Mitte März bis Mitte Juni) überdecken und in Beziehung zum Entwicklungsstand ortstypischer wild wachsender Pflanzen stehen. Nach dem „Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands“ (MEYNEU et al. 1962) liegt Heiligenhaus in der nordwestlichen Ecke des Naturraumes „33 Bergisch-Sauerländisches Gebirge“ und grenzt an den Naturraum „54 Westfälische Tieflandsbucht“. Die phänologischen Daten wild wachsender Pflanzen werden für jeden Naturraum als Mittelwerte aller dort bestehenden Messstationen in Form von Jahrestagszahlen (laufende Nummer des Tages vom Jahresbeginn an gezählt) vom Deutschen Wetterdienst laufend im Deutschen Meteorologischen Jahrbuch veröffentlicht (Deutscher Wetterdienst 2006). So wird für den Naturraum „Bergisch-Sauerländisches Gebirge (Berichtsjahr 2003) der Beginn der Blüte der Forsythie (*Forsythia* susp.) auf die Jahrestagszahl 87, der Beginn der Blattentfaltung der Hängebirke (*Betula pendula*) auf die Jahrestagszahl 107, der Beginn der Blattentfaltung der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) auf die Jahrestagszahl 116, die Vollblüte des Wiesenfuchsschwanzes (*Alopecurus pratensis*) auf die Jahrestagszahl 138 und die Vollblüte des Wiesenknäuelgrases (*Dactylis glomerata*) auf die Jahrestagszahl 151 datiert. Wenn man diese Jahrestagszahlen auf die Kalenderdaten überträgt und so weit verschiebt, dass sie die Forderung nach gleicher Länge der Saisonkategorien erfüllen, ergeben sich die angepassten Jahrestagszahlen 79 (20. März), 100 (10. April), 120 (30. April), 140 (20. Mai) und 161 (10. Juni). Die hier unterschiedenen Brutzeitabschnitte sind demnach 20.03.-10.4 (bezeichnet als Saisonkategorie A ), 10.04.-30.04. (B), 30.04.-20.05. (C) und 20.05.-10.06. (D).

Die vier Saisonkategorien wurden nicht in ihrer jahreszeitlichen Reihenfolge belassen, sondern innerhalb jeder Nutzungskategorie zufällig sortiert. Für die Kategorie Siedlung ergab sich die Reihenfolge BADC, für die Kategorie Wald CDAB und für die Kategorie Agrarland ACDB. Auf jede Kombination Nutzungs- / Saisonkategorie entfielen fünf ausgewählte Planquadrate. Das erste bis fünfte Quadrat der Nutzungskategorie Siedlung wurde der Saisonkategorie B, das sechste bis zehnte Quadrat der Kategorie A, das elfte bis fünfzehnte Quadrat der Kategorie D und das sechzehnte bis zwanzigste Quadrat der Kategorie C zugeordnet. Analog wurde mit den 20 Quadraten der Nutzungskategorie Wald und den 20 Quadraten der Nutzungskategorie Agrarland in der jeweils vorgegebenen Reihenfolge der Saisonkategorien verfahren. Damit war der Untersuchungsplan vollständig. Die 60 ausgewählten Planquadrate wurden im Jahr 2007 innerhalb der für jedes Quadrat festgelegten Saisonkategorie aufgesucht. Die Vogelzählungen fanden dort an Tagen mit günstigem Beobachtungswetter zu jeweils gleicher Tageszeit (am frühen Vormittag) statt. Registriert wurden für jedes Quadrat alle Vögel, die vom Beobachtungspunkt aus – in der Regel in der Mitte des Flächenstücks bzw. bei deren Unzugänglichkeit so nahe wie möglich an der Mitte – zu sehen oder zu hören waren. Die Beobachtungszeit betrug je Quadrat 15 Minuten. Außer der Häufigkeit der einzelnen Vogelarten wurden auch revierabgrenzende Verhaltensweisen (im Allgemeinen Gesänge) protokolliert. An den Beobachtungen beteiligten sich in jedem Quadrat mehrere langjährig erfahrene Mitglieder der Ornithologischen Arbeitsgemeinschaft Heiligenhaus, die die Gewähr für die weitgehende Vermeidung nichtzufälliger Beobachtungsfehler boten.

## Mathematische Instrumente

Die hier für die Berechnung der Dominanzdiversität D verwendeten Symbole sind:

- k = Anzahl der Vogelarten, die im betrachteten Planquadrat vorkommen
- p = Anteil der Art an der Anzahl der Individuen aller im betrachteten Planquadrat vorkommenden Arten zusammen (Dominanz)
- i = laufende Nummer der Vogelart je Planquadrat
- ln = natürlicher Logarithmus

Die gesondert für jedes Planquadrat zu berechnende Dominanzdiversität ist dann:

$$D = \sum_{i=1}^k p_i \ln \frac{1}{p_i}$$

Das theoretische Maximum von D beträgt  $\ln k$ . Die relativ zum Maximum ausgedrückte und dadurch auf den Wertebereich von null bis 1 normierte Diversität E – die als „species evenness“ bezeichnet wird (MAGURRAN 1988, GERß 1996) – ist:

$$E = \frac{1}{\ln k} D$$

E = 0 bedeutet minimale Diversität, das heißt maximale Konzentration auf bestimmte Arten.

E = 1 bedeutet maximale Diversität, das heißt minimale Konzentration bzw.

Gleichverteilung aller Arten. Wenn mit D statt der üblichen Dominanzdiversität die Verbreitungsdiversität bezeichnet wird, ändert sich die Bedeutung der Symbole:

- k = Anzahl der für die betrachtete Vogelart relevanten Planquadrate insgesamt (maximal 60)
- p = Anteil des Planquadrats (gemessen nach der Individuenzahl der betrachteten Vogelart) an allen für diese Vogelart relevanten Quadraten (maximal 60)
- i = laufende Nummer des relevanten Planquadrats je Vogelart

Die Berechnung der Verbreitungsdiversität erfolgt gesondert für jede Vogelart. E = 0 bedeutet hier maximale Konzentration der Art auf bestimmte Quadrate. E = 1 bedeutet gleichmäßige Verbreitung über alle relevanten Quadrate.

Während die Dominanzdiversität in jedem Fall ohne Komplikationen berechenbar ist, stößt die Verbreitungsdiversität auf das mathematische Problem, dass eine Vogelart in manchen Planquadraten nicht vorkommt, so dass die Division durch p nicht

definiert ist. Um einen Abbruch des Rechenganges zu vermeiden, wurde jedem von der Art nicht besetzten relevanten Quadrat die Häufigkeit 1 zugewiesen und die beobachtete Häufigkeit jedes von der Art besetzten Quadrates mit 1000 multipliziert. Die Berechnung der Verbreitungsdiversität wird dadurch etwas ungenau, allerdings nur in einem vernachlässigbar geringen Ausmaß, weil es nicht auf die absolute Individuenzahl, sondern nur auf die Form ihrer Verteilung auf die Quadrate ankommt. Die Anzahl der für eine Vogelart relevanten Planquadrate beträgt bei Zugvögeln nur dann 60, wenn mindestens 1 Individuum bereits auf dem zuerst untersuchten Quadrat angetroffen wurde. Bei später eintreffenden Zugvögeln verringert sich die Anzahl der relevanten Planquadrate auf die vom frühesten Auftreten bis zum Ende des Untersuchungszeitraums untersuchten Quadrate. Bei ganz oder teilweise nicht ziehenden Arten gelten stets alle 60 Quadrate als relevant, unabhängig davon, ob diese Arten tatsächlich an jedem Zählungstermin beobachtet wurden. Die danach mit einer reduzierten Anzahl von Planquadraten versehenen Vogelarten sind: Dorngrasmücke, Feldschwirl, Fitis, Gartengrasmücke, Hänfling, Hausrotschwanz, Kuckuck, Mauersegler, Mehlschwalbe, Misteldrossel, Mönchsgrasmücke, Rauchschwalbe, Singdrossel, Sommergoldhähnchen, Sumpfrohrsänger. Andere Arten von im Untersuchungsgebiet vermutlich vorkommenden ziehenden Vogelarten, bei denen eine reduzierte Anzahl von Planquadraten zu erwarten wäre (z. B. Baumpieper, Gelbspötter, Grauschnäpper, Klappergrasmücke, Schafstelze), wurden bei den Zählungen im Jahr 2007 nicht festgestellt.

Bei der Varianzanalyse werden zwei unabhängige Einflussfaktoren (Nutzungskategorie und Saisonkategorie) jeweils einer abhängigen Variablen X (alternativ je Planquadrat Anzahl der Vogelarten, Anzahl der Vögel oder relative Dominanzdiversität) gegenübergestellt. Es handelt sich damit um das Modell der „univariaten zweifachen Varianzanalyse mit Untergruppen gleichen Umfangs“ (RISTERT, STRACKE & HEIDER 1976). Wenn man in der Basistabelle der Varianzanalyse (Tab. 1) die drei Nutzungskategorien in den Spalten und die vier Saisonkategorien in den Zeilen anordnet, ergeben sich zwölf Untergruppen mit je fünf Messwerten für jede Variante der Variablen X. Jeder Messwert bezieht sich auf ein bestimmtes Planquadrat. Mit der „Streuung zwischen den Spalten“ wird der Einfluss des Spaltenfaktors (Nutzungskategorien) auf die Variable X durch die „SAQ

(Summe der Abweichungsquadrate) zwischen Spalten“, mit der „Streuung zwischen den Zeilen“ der Einfluss des Zeilenfaktors (Saisonkategorien) durch die „SAQ zwischen Zeilen“ gemessen. Die „SAQ Wechselwirkung“ zeigt, ob und in welchem Ausmaß die dem Spalten- und dem Zeilenfaktor separat zuzurechnenden Einflüsse auf die Variable X durch das Zusammenwirken beider Faktoren verstärkt oder abgeschwächt werden. Die Wechselwirkung (Interaktion) tritt auf, wenn die einzelnen Faktoren nicht vollständig voneinander unabhängig sind. Allgemein ist die Wechselwirkung definiert als „die systematische Auswirkung der Überlagerung zweier oder mehrerer unabhängiger Variablen auf die abhängige Variable“ und macht zu einem erheblichen Teil die wissenschaftliche Bedeutsamkeit des varianzanalytischen Verfahrens aus (GLASER 1978, S. 17). Die durchschnittliche Streuung innerhalb der zwölf Untergruppen, die nicht auf den Spalten- und/oder Zeilenfaktor

zurückgeführt werden kann, wird durch die „SAQ innerhalb Zellen“ gemessen und im Rahmen des Modells als Zufallsstreuung angesehen. Die Summe aller so definierten SAQ ergibt die „SAQ insgesamt“, d.h. die Gesamtstreuung der beobachteten Werte der Variablen X. Im Folgenden bezeichnet i die laufende Nummer und k die Anzahl der Spalten (Nutzungskategorien; k = 3), j die laufende Nummer und n die Anzahl der Zeilen (Saisonkategorien; n = 4) sowie l die laufende Nummer und m die Anzahl der Messwerte X je Zelle (m = 5) der Basistabelle der Varianzanalyse.

$$SAQ_{insgesamt} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl}^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2}{knm}$$

mit knm – 1 Freiheitsgraden

$$SAQ_{zwischenSpalten} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2}{knm}$$

mit k – 1 Freiheitsgraden

$$SAQ_{zwischenZeilen} = \frac{1}{km} \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2}{knm}$$

mit n – 1 Freiheitsgraden

$$SAQ_{innerhalbZellen} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_{ijl}^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \left( \sum_{l=1}^m x_{ijl} \right)^2$$

mit knm – kn Freiheitsgraden

$$SAQ_{Wechselwirkung} = SAQ_{insgesamt} - SAQ_{zwischenSpalten} - SAQ_{zwischenZeilen} - SAQ_{innerhalbZellen}$$

mit (k – 1) (n – 1) Freiheitsgraden

Durch Division der SAQ durch die jeweilige Anzahl der Freiheitsgrade ergeben sich Teilvarianzen. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung jedes Quotienten zweier Teilvarianzen ist die F-Verteilung. Wenn als Nenner dieses Quotienten jeweils die die Zufallsvarianz darstellende Teilvarianz innerhalb der Zellen verwendet wird, kann der F-Test die separaten Einflüsse des Spalten- und des Zeilenfaktors sowie den kombinierten Einfluss aus der Wechselwirkung beider Faktoren prüfen.

## Interpretation der Ergebnisse

Der hier zur Demonstration der beschriebenen Methoden verwendete Datensatz umfasst 59 Vogelarten mit insgesamt 1621 Vögeln (Abb. 1). Auf den einzelnen Planquadraten wurden insgesamt mindestens 5 und höchstens 20 Vogelarten mit mindestens 15 und höchstens 63 Vögeln beobachtet (Tab. 1). Die relative Dominanzdiversität je Quadrat betrug mindestens 0,6530 und höchstens 0,9829. Die Spannen zwischen Minimum und Maximum erscheinen demnach deskriptiv ziemlich groß. Ob damit auch die Unterschiede zwischen den Quadraten signifikant sind, zeigt sich aber erst an den Ergebnissen der Varianzanalyse.

### Varianzanalyse für die Anzahl der Arten

SAQ dividiert durch Anzahl der Freiheitsgrade:

$$\text{insgesamt } \frac{598,9\bar{3}}{59} = 10,1514 \quad \text{zw. Spalten } \frac{9,4\bar{3}}{2} = 4,71\bar{6}$$

$$\text{zw. Zeilen } \frac{8}{3} = 2,6\bar{6}$$

$$\text{innerhalb Zellen } \frac{430,8}{48} = 8,975 \quad \text{Wechselwirkung } \frac{150,7}{6} = 25,11\bar{6}$$

F-Tests:

Spaltenfaktor  $F = 0,5255$  ( $P = 0,5946$ )      Zeilenfaktor  $F = 0,2971$  ( $P = 0,8273$ )

Wechselwirkung  $F = 2,7985$  ( $P = 0,0204$ )

### Varianzanalyse für die Anzahl der Vögel

SAQ dividiert durch Anzahl der Freiheitsgrade:

$$\text{insgesamt } \frac{4848,98\bar{3}}{59} = 82,1862 \quad \text{zw. Spalten } \frac{24,1\bar{3}}{2} = 12,0\bar{6}$$



$$\text{zw. Zeilen } \frac{487,25}{3} = 162,41\bar{6}$$

$$\text{innerhalb Zellen } \frac{3696}{48} = 77$$

$$\text{Wechselwirkung } \frac{641,6}{6} = 106,9\bar{3}$$

F-Tests:

Spaltenfaktor  $F = 0,1567$  ( $P = 0,8554$ )

Zeilenfaktor  $F = 2,1093$  ( $P = 0,1114$ )

Wechselwirkung  $F = 1,3887$  ( $P = 0,2385$ )

Varianzanalyse für die relative Dominanzdiversität

SAQ dividiert durch Anzahl der Freiheitsgrade:

$$\text{insgesamt } \frac{0,17266}{59} = 0,00293 \quad \text{zw. Spalten } \frac{0,01139}{2} = 0,005695$$

$$\text{zw. Zeilen } \frac{0,01751}{3} = 0,00583\bar{6}$$

$$\text{innerhalb Zellen } \frac{0,1188}{48} = 0,002475$$

$$\text{Wechselwirkung } \frac{0,02496}{6} = 0,00416$$

F-Tests:

Spaltenfaktor  $F = 2,3010$  ( $P = 0,1111$ )

Zeilenfaktor  $F = 2,3582$  ( $P = 0,0833$ )

Wechselwirkung  $F = 1,6808$  ( $P = 0,1462$ )

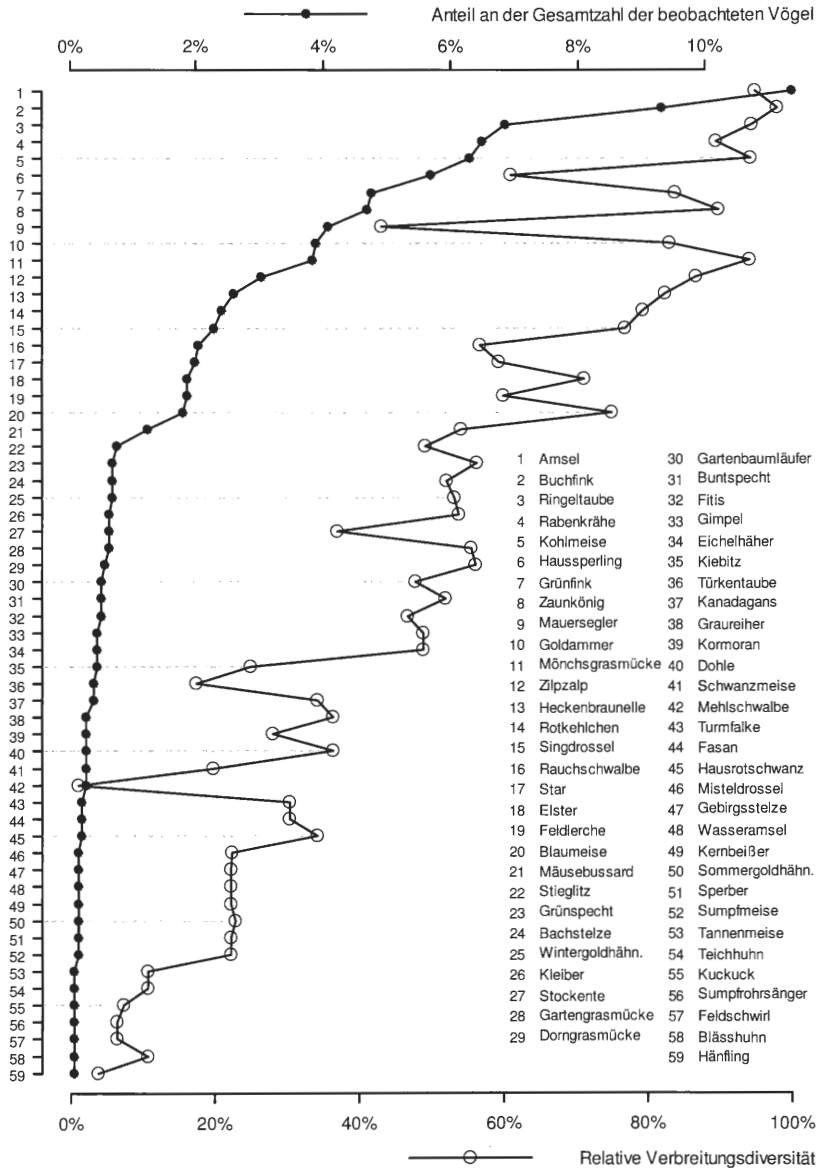
Die P-Werte bezeichnen die Wahrscheinlichkeit, dass die jeweilige Variationsursache (Nutzungskategorie, Saisonkategorie oder Wechselwirkung zwischen beiden) nicht signifikant auf die beobachtete Streuung des betrachteten Merkmals (Anzahl der Arten, Anzahl der Vögel, Dominanzdiversität) einwirkt, die beobachteten Unterschiede also nur zufällig sind. Demnach ist ein Einfluss des Spaltenfaktors (Nutzungskategorie) auf die Anzahl der Arten und die Anzahl der Vögel gar nicht und auf die Dominanzdiversität nur sehr schwach nachweisbar. Dieses Ergebnis ist offensichtlich auf die kleinräumige und abwechslungsreiche Gliederung der Land-

schaft zurückzuführen. In fast jedem Planquadrat kommen – mit variierenden Anteilen – die hier unterschiedenen Landschaftselemente vor, so dass die methodisch notwendige Zuordnung des gesamten Quadrats zu einer der drei Nutzungskategorien manchmal sehr schwierig ist. So konnte man von sehr vielen einer bestimmten Kategorie zugeordneten Beobachtungspunkten aus auch Charaktervögel der beiden anderen Kategorien sehen oder hören. Der deutlichere Zusammenhang zwischen dem Spaltenfaktor und der Dominanzdiversität besagt, dass die Diversität in einer Nutzungskategorie (hier Wald) möglicherweise etwas höher ist als in den beiden anderen Kategorien.

Ein messbarer Einfluss des Zeilenfaktors (Saisonkategorie) auf die Anzahl der Arten besteht nicht; er ist dagegen auf die Anzahl der Vögel nicht auszuschließen und auf die Dominanzdiversität noch etwas deutlicher. Hier spielt offensichtlich die seit längerer Zeit bekannte Tatsache eine Rolle, dass viele spät aus dem Winterquartier zurückkommende Fernzügler in großen Teilen Mitteleuropas von einem erheblichen Bestandsrückgang betroffen sind (BERTHOLD et al. 1999). Diese Vögel würden – wenn es sie noch in größerer Anzahl gäbe – die Vielfalt und Häufigkeit der Avifauna enorm bereichern und durch ihr unterschiedliches Auftreten in den verschiedenen Saisonkategorien deren Einfluss unübersehbar machen. Leider kommen viele fernziehende Spätheimkehrer im Untersuchungsgebiet gar nicht mehr oder nur noch vereinzelt vor. Dass der Einfluss der Saisonkategorien auf die Anzahl der Vögel und die Dominanzdiversität – anders als auf die Anzahl der Arten, wo er keine Rolle spielt – zumindest spürbar ist, lässt sich durch die Anwesenheit von zwei auch als Brutvögel noch verhältnismäßig zahlreichen fernziehenden Arten (Mauersegler und Rauchschnalze) erklären.

Die isolierten Einflüsse des Zeilenfaktors und des Spaltenfaktors können durch deren Wechselwirkung verstärkt werden. Dies ist bei der Anzahl der Arten sehr deutlich der Fall, bei der Dominanzdiversität immerhin spürbar und bei der Anzahl der Vögel nicht ausgeschlossen. Die Wechselwirkung zeigt sich in der Weise, dass die im Vergleich zu den anderen Nutzungskategorien insgesamt etwas höhere durchschnittliche Artenzahl der Planquadrate des Agrarlandes ausschließlich auf die späteren Saisonkategorien C und D zurückzuführen ist, während sie dort in der Saisonkategorie A sogar wesentlich geringer ist als in den beiden anderen Nutzungskategorien. Die spät im Agrarland beobachtete größere Artenzahl umfasst insbesondere Langstreckenzieher wie Gartengrasmücke, Dorngrasmücke, Fitis, Sumpfrohrsänger und Feldschwirl. Dagegen nimmt die beobachtete durchschnittliche Artenzahl des Waldes im Verlauf der Brutzeit kontinuierlich ab; sie ist dort in der Saisonkategorie A erheblich höher und in der Saisonkategorie D geringer als in den anderen Nutzungskategorien. Auch in den Siedlungen nimmt die beobachtete Artenzahl im Verlauf der Brutzeit tendenziell ab. Bei der Dominanzdiversität zeigt sich der Einfluss der Wechselwirkung vor allem darin, dass nur die in den Saisonkategorien C und D erreichten Durchschnittswerte des Waldes, die dort weitaus höher sind als in den beiden anderen Nutzungskategorien, zu dem insgesamt höchsten Durchschnitt führen, während in der Saisonkategorie A die Diversität im Wald am geringsten ist.

Abb.1: Häufigkeit und Verbreitungsdiversität der beobachteten Vogelarten.  
 Fig.1: Frequency and spreading diversity of the observed bird species.



Tab.1: Datenbasis der Varianzanalyse. – Data basis for analysis of variance.

Je Tabellenfeld für 5 Planquadrate: Erste Spalte Anzahl der Vogelarten, zweite Spalte Anzahl der Vögel, dritte Spalte relative Dominanzdiversität. – Each table cell for 5 grid units: First column number of bird species, second column number of birds, third column relative dominance diversity.

$\Sigma$  = Summe/sum,  $\bar{x}$  = Arithmetisches Mittel/ arithmetic mean.

| Kategorien     | Siedlung |       |         | Wald  |       |         | Agrarland |       |         | $\Sigma\Sigma$   | $\bar{x}$                |
|----------------|----------|-------|---------|-------|-------|---------|-----------|-------|---------|--|--------------------------|
| Saison A       | 16       | 35    | 0,9268  | 20    | 38    | 0,9629  | 10        | 23    | 0,9493  | Arten:<br>199<br>Vögel:<br>381<br>Diversität:<br>14,1269 | 13,26<br>25,4<br>0,9418  |
|                | 17       | 33    | 0,9745  | 9     | 18    | 0,8902  | 15        | 24    | 0,9655  |  |                          |
|                | 14       | 26    | 0,9480  | 14    | 20    | 0,9577  | 14        | 19    | 0,9566  |  |                          |
|                | 9        | 31    | 0,8878  | 17    | 30    | 0,9435  | 5         | 17    | 0,8887  |  |                          |
|                | 17       | 22    | 0,9798  | 15    | 28    | 0,9322  | 7         | 17    | 0,9634  |  |                          |
| $\Sigma$       | 73       | 147   | 4,7169  | 75    | 134   | 4,6865  | 51        | 100   | 4,7235  |  |                          |
| $\bar{x}$      | 14,6     | 29,4  | 0,9434  | 15,0  | 26,8  | 0,9373  | 10,2      | 20,0  | 0,9447  |  |                          |
| Saison B       | 13       | 22    | 0,9211  | 12    | 20    | 0,9614  | 14        | 20    | 0,9776  | Arten:<br>211<br>Vögel:<br>352<br>Diversität:<br>14,3350 | 14,06<br>23,46<br>0,9557 |
|                | 9        | 17    | 0,9116  | 15    | 24    | 0,9522  | 15        | 27    | 0,9681  |  |                          |
|                | 18       | 27    | 0,9737  | 15    | 25    | 0,9684  | 14        | 19    | 0,9775  |  |                          |
|                | 13       | 24    | 0,9488  | 16    | 29    | 0,9708  | 14        | 21    | 0,9691  |  |                          |
|                | 14       | 29    | 0,9353  | 14    | 24    | 0,9552  | 15        | 24    | 0,9442  |  |                          |
| $\Sigma$       | 67       | 119   | 4,6905  | 72    | 122   | 4,8080  | 72        | 111   | 4,8365  |  |                          |
| $\bar{x}$      | 13,4     | 23,8  | 0,9381  | 14,4  | 24,4  | 0,9616  | 14,4      | 22,2  | 0,9673  |  |                          |
| Saison C       | 8        | 16    | 0,8831  | 15    | 29    | 0,9720  | 18        | 28    | 0,9580  | Arten:<br>205<br>Vögel:<br>423<br>Diversität:<br>13,8787 | 13,6<br>28,2<br>0,9252   |
|                | 13       | 21    | 0,9456  | 11    | 18    | 0,9806  | 10        | 18    | 0,9208  |  |                          |
|                | 9        | 22    | 0,8848  | 12    | 28    | 0,9352  | 17        | 24    | 0,9713  |  |                          |
|                | 18       | 59    | 0,7574  | 13    | 24    | 0,9433  | 18        | 46    | 0,8820  |  |                          |
|                | 9        | 15    | 0,9642  | 15    | 38    | 0,9541  | 19        | 37    | 0,9263  |  |                          |
| $\Sigma$       | 57       | 133   | 4,4351  | 66    | 137   | 4,7852  | 82        | 153   | 4,6584  |  |                          |
| $\bar{x}$      | 11,4     | 26,6  | 0,8870  | 13,2  | 27,4  | 0,9570  | 16,4      | 30,6  | 0,9317  |  |                          |
| Saison D       | 15       | 30    | 0,9351  | 11    | 25    | 0,9450  | 12        | 31    | 0,8528  | Arten:<br>197<br>Vögel:<br>465<br>Diversität:<br>13,6582 | 13,13<br>31,0<br>0,9105  |
|                | 14       | 28    | 0,9449  | 12    | 31    | 0,9580  | 15        | 25    | 0,9315  |  |                          |
|                | 13       | 29    | 0,9306  | 14    | 28    | 0,9483  | 14        | 41    | 0,9205  |  |                          |
|                | 9        | 25    | 0,9353  | 9     | 19    | 0,9829  | 18        | 63    | 0,6530  |  |                          |
|                | 12       | 34    | 0,8343  | 14    | 27    | 0,9340  | 15        | 29    | 0,9520  |  |                          |
| $\Sigma$       | 63       | 146   | 4,5802  | 60    | 130   | 4,7682  | 74        | 189   | 4,3098  |  |                          |
| $\bar{x}$      | 12,6     | 29,2  | 0,9160  | 12,0  | 26,0  | 0,9536  | 14,8      | 37,8  | 0,8620  |  |                          |
| $\Sigma\Sigma$ | 260      | 545   | 18,4227 | 273   | 523   | 19,0479 | 279       | 553   | 18,5282 | $\Sigma\Sigma\Sigma$                                     | $\bar{x}$                |
| $\bar{x}$      | 13,0     | 27,25 | 0,9211  | 13,65 | 26,15 | 0,9524  | 13,95     | 27,65 | 0,9264  |  |                          |

$\Sigma\Sigma\Sigma$ :Arten 812; Vögel 1621; Diversität 55,9987  $\bar{x}$ :Arten 13,53; Vögel 27,016; Diversität 0,9333

Zwischen der relativen Häufigkeit und der Verbreitungsdiversität der einzelnen Vogelarten besteht ein deutlicher positiver Zusammenhang (Abb. 1). Die häufigsten Arten sind in der Regel ziemlich gleichmäßig über fast alle Planquadrate verbreitet. Die weitaus höchste Verbreitungsdiversität (0,98 beim theoretischen Maximalwert 1) wurde von den Buchfinken erreicht. Dieses Ergebnis lässt sich in dreifacher Weise interpretieren. Erstens erfüllt die niederbergische Landschaft in allen Teilräumen die Biotopansprüche der Buchfinken. Zweitens sind diese Ansprüche sehr wenig speziell. Drittens sorgt das ausgeprägte Revierverhalten der Buchfinken dafür, dass die Besiedlung in gebührendem Abstand voneinander erfolgt (KRÄGENOW 1981). Weitere besonders hohe Werte der Verbreitungsdiversität wurden für die Arten Amsel (0,95), Ringeltaube (0,94), Kohlmeise (0,94), Mönchsgrasmücke (0,94), Rabenkrähe (0,90) und Zaunkönig (0,90) festgestellt. Hervorzuheben ist hier die Mönchsgrasmücke, die auf den jahreszeitlich am frühesten untersuchten Planquadraten noch fehlte, dann aber nach ihrem Eintreffen fast allgegenwärtig war. Die geringste gemessene Verbreitungsdiversität (0,01) gilt für die Mehlschwalben. Hierin drückt sich aus, dass die Mehlschwalben zwar nur noch an ganz wenigen Stellen des Untersuchungsgebietes vorkommen, dort aber kleine Brutkolonien bilden. Weitere Arten mit sehr geringer Verbreitungsdiversität sind Hänfling (0,04), für den „geklumptes“ Brüten charakteristisch ist, Feldschwirl (0,07), Sumpfrohrsänger (0,07), und Kuckuck (0,07). Vermutlich brütende Hänflinge werden im Untersuchungsgebiet nur selten beobachtet. Der Feldschwirl ist kein regelmäßiger Brutvogel, vielleicht auch nur Durchzügler. Der Sumpfrohrsänger beschränkt sich auf sehr wenige geeignete Stellen, an denen sich dann auch mehrere Paare konzentrieren können. Der Kuckuck ist fast vollständig verschwunden.

Neben diesen mit der Häufigkeit der Arten gut korrelierenden Werten der Verbreitungsdiversität können einzelne in charakteristischer Weise abweichende Ergebnisse auftreten. Hier sind vor allem die geringen Diversitätswerte der häufigen, aber nicht in allen Nutzungshabitaten brütenden Arten Mauersegler (0,43) und Haussperling (0,61) zu nennen, für die typisch ist, dass sie entweder gar nicht oder in Agglomerationen erscheinen. Weitere Arten, bei denen wie bei Mauersegler und Haussperling die räumliche Konzentration stärker ausgeprägt ist (bzw. die ungleichmäßiger im Raum verteilt sind), als es nach ihrer Häufigkeit zu erwarten wäre, sind vor allem Mehlschwalbe, Türkentaube, Schwanzmeise, Kiebitz, Stockente und Stieglitz. Dagegen sind einige Arten unabhängig von ihrer Häufigkeit besonders gleichmäßig verbreitet. Hierzu gehören vor allem Dorngrasmücke, Hausrotschwanz, Sommergoldhähnchen, Mönchsgrasmücke, Gartengrasmücke und Blaumeise. Auch diese Beobachtungen stehen durchaus in Einklang mit den speziellen Merkmalen des Untersuchungsgebietes (kleinräumliches Mosaik aus bebauten Flächen, Agrarflächen und Waldflächen). Die Messung der räumlichen Verteilung von Vögeln durch das Instrument der Verbreitungsdiversität führt offensichtlich zu plausiblen Ergebnissen.

## Literatur:

BERTHOLD, P., FIEDLER, W., SCHLENKER, R. & U. QUERNER (1999): Bestandsveränderungen mitteleuropäischer Kleinvögel – Abschlussbericht zum MRI- Programm. Die Vogelwarte **40/1-2**: 1-10. - BORTZ, J. (1993): Statistik für Sozialwissenschaftler. Vierte Auflage. Berlin Heidelberg. - Deutscher Wetterdienst (2006): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 2003. Offenbach am Main. - FISHER, R.A. (1925): Statistical methods for research workers. Erste Auflage. Edinburgh. - GERSS, W. (1977): Lohnstatistik in Deutschland – Methodische, rechtliche und organisatorische Grundlagen seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. Berlin. - GERSS, W. (1996): Statistische Signifikanz der Diversität im Zusammenhang mit biologischen Bestandserfassungen. Allgemeines Statistisches Archiv **80**: 219-226. - GLASER, W.R. (1978): Varianzanalyse. Stuttgart New York. - KRÄGENOW, P. (1981): Der Buchfink. Die Neue Brehm-Bücherei. Wittenberg Lutherstadt. - MAGURRAN, A.E. (1988): Ecological diversity and its measurement. London. - MESSER, J. (2004): Vergleich der Avifauna eines innerstädtischen Freiraums im Duisburger Norden von 1980 und 2000. *Charadrius* **40** (1): 37-46. - MEYNEN, E. et al. (Hrsg.) (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung. Bad Godesberg. - RITSERT, J., STRACKE, E. & F. HEIDER (1976): Grundzüge der Varianz- und Faktorenanalyse. Frankfurt/Main. - SUDMANN, S.R. & F. HUSTINGS (2003): Parallele Entwicklung der Brutvogelbestände in den Niederlanden und Nordrhein-Westfalen in den letzten 25 Jahren. *Charadrius* **39** (4): 145-166.

Summary: Analysing the diversity of the avifauna by experimental design.

In order to investigate the variety of bird species a design based on analysis of variance was set up and applied to an observation area in the Niederberg country during the breeding period 2007. The number and frequency of all bird species were counted for a random sample of grid units. As factors influencing the variety of species the kind of land utilisation and the time segment (season) were examined. The dominance diversity (evenness of frequency of species) was measured for each combination of one utilisation category with one season category. In addition to the isolated influences of the two factors on the variety of species the analysis of variance shows the mutual interaction between the factors. The conception of diversity was also applied to the evenness of the areal spreading of the single bird species. Like the dominance diversity for the variety of species the spreading diversity proves to be a suitable instrument for measuring agglomerations. The most striking result was that the spectrum of species was dominated everywhere and at every time by the non-migrating species and the short distance migrants, while the long distance migratory late homecomers appeared only very sparsely.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Wolfgang Gerß  
Eifelstraße 14  
42579 Heiligenhaus  
E-mail: w.gerss@nabu-nrw.de